Aus der Strahlen- und Poliklinik im Klinikum Charlottenburg
der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med. R. Felix

Computertomographische Diagnostik lumbaler Bandscheibenvorfälle

— Diagnostische Wertigkeit und Grenzen der Methode —

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Jochen Treisch
aus Berlin

L905

Aus der Strahlen- und Poliklinik im Klinikum Charlottenburg
der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med. R. Felix

Computertomographische Diagnostik lumbaler Bandscheibenvorfälle

- Diagnostische Wertigkeit und Grenzen der Methode -

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Jochen Treisch

aus Berlin

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. C. Claussen

Korreferent: Prof. Dr. med. B. Bingas

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 1. November 1985

Meinen Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549619_0073

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1	EINLEITUNG	7
1.1	Ganzkörpercomputertomographie (CT) - ein modernes Verfahren zur Wirbelsäulendiagnostik	7
1.2	Klinisches Bild und Bedeutung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule	9
1.2.1	Ursachen und Häufigkeit	9
1.2.2	Pathologische Anatomie und Pathophysiologie	10
1.2.3	Klinisches Bild	10
1.2.4	Therapie	15
1.2.5	Prognose	16
1.3	Konventionelle radiologische Diagnostik bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS	17
1.3.1	Röntgen-Leeraufnahmen der LWS	17
1.3.2	Myelographie	18
1.3.2.1	Historisches und Entwicklung	18
1.3.2.2	Untersuchungstechnik	19
1.3.2.3	Indikation	19
1.3.2.4	Nebenwirkungen und Risiken	19
1.3.2.5	Myelographische Befunde	20
1.3.3	Diskographie	25
1.4	Ziel der eigenen Untersuchungen	25

		Seite
2	MATERIAL UND METHODE	27
2.1	Prinzip der Computertomographie	27
2.1.1	Bildentstehung	27
2.1.2	Bildartefakte	28
2.2	Beschreibung des eingesetzten Ganzkörpercomputer-tomographen	30
2.3	Untersuchungsablauf	30
2.3.1	Technisches Vorgehen bei der lumbalen CT	30
2.3.2	Schwierigkeiten und Irrtümer durch fehlerhaften Untersuchungsablauf	32
2.3.2.1	Fensterbreite (window setting)	32
2.3.2.2	Dicke und Anzahl der Abtastschichten	33
2.3.2.3	Anschnittphänomene durch fehlende Planparallelität der Abtastschicht zum Bandscheibenfach	34
2.4	Patientengut	34
2.4.1	Ausgewertetes Patientenkollektiv	34
2.4.2	Neurologische Symptomatik	35
2.4.3	Operierte Patienten	36
2.4.4	Myelographierte Patienten	36
2.4.5	Anteil der Wirbelsäulenuntersuchungen am Patientengut eines Ganzkörpercomputertomographen (CT)	37

		Seite
3	ERGEBNISSE	38
3.1	Anatomie der Lendenwirbelsäule im Computertomogramm	38
3.2	Diagnostische Kriterien des lumbalen Bandscheiben-vorfalls im Computertomogramm	43
3.2.1	Nomenklatur	43
3.2.2	Typische computertomographische Befunde beim lumbalen Diskusvorfall	44
3.3	Operationsbefunde	49
3.3.1	Operationsbefunde bei erstmaligen Operationen	49
3.3.2	Operationsbefunde bei Rezidivoperationen	51
3.4	Diagnostische Wertigkeit der Computertomographie	52
3.4.1	Vergleich: CT-Befund mit klinisch-neurologischem Befund	52
3.4.1.1	Erstmalige Operationen	52
3.4.1.2	Rezidivoperationen	54
3.4.1.3	Zusammenfassung	55
3.4.2	Vergleich: CT-Befund mit Operationsbefund	55
3.4.2.1	Erstmalige Operationen	56
3.4.2.2	Rezidivoperationen	59
3.4.3	Vergleich: Myelographiebefund mit Operationsbefund	60
3.4.3.1	Erstmalige Operationen	61
3.4.3.2	Rezidivoperationen	62
3.4.4	Vergleich von Computertomogramm, Myelogramm und Operationsbefund	64
3.4.5	CT-Befunde bei degenerativen Veränderungen der Lendenwirbelsäule	66
3.4.5.1	Problemstellung	66
3.4.5.2	Ergebnisse	66

		Seite
3.4.6	Computertomographie des operierten Intervertebral-segments	69
3.4.6.1	Problemstellung	69
3.4.6.2	Methode	69
3.4.6.3	Ergebnisse	70
3.4.6.4	Konklusionen	72
4	DISKUSSION	74
4.1	Allgemeines	74
4.2	Beurteilung der Treffsicherheit der Computertomographie bei der präoperativen Diagnostik des lumbalen Band-scheibenvorfalls	74
4.3	Vorteile der Computertomographie in der lumbalen Bandscheibendiagnostik	76
4.4	Diagnostische Probleme der Computertomographie in der lumbalen Banscheibendiagnostik	77
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	81
6	LITERATURVERZEICHNIS	82

1 EINLEITUNG

1.1 Ganzkörpercomputertomographie (CT) - ein modernes Verfahren zur Wirbelsäulendiagnostik

Im Jahre 1917 veröffentlichte der österreichische Mathematiker J. Radon die Ergebnisse seiner Untersuchungen "Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten". Dies erbrachte den Beweis, daß es möglich ist, einen dreidimensionalen Körper durch eine infinite Zahl seiner Projektionen zu rekonstruieren. Radons Arbeit könnte man als mathematische Grundlage der modernen Röntgen-Computertomographie bezeichnen (38).

1961 entwickelte Oldendorf (57) ein System aus einem γ-Strahler und einem Detektor zur Bildrekonstruktion; 1963 gelang es Cormack mit einem entsprechenden System, einfache geometrische Körper zu rekonstruieren.

1967 konstruierte der englische Elektronik-Ingenieur G.N. Hounsfield ein Gerät zur bildlichen Rekonstruktion von Kunststoffprobekörpern. Als Strahlungsquelle diente ein Americium-γ-Strahler, ein Natriumjodid-Kristalldetektor diente als Meßfühler. Nach 9 Tagen Meßzeit und 2,5 Stunden Rechenzeit waren die ersten computertomographischen Bilder mit einer den heutigen Geräten vergleichbaren Anlage fertiggestellt (38). Verbesserungen der Bildqualität und die Überlegung, diese neue bildgebende Methode medizinisch zu nutzen, führten in den folgenden Jahren zur Entwicklung des ersten Schädelcomputertomographen. Am 1. Oktober 1971 wurde im Atkinson-Morley's Hospital in Wimbledon, England, von Ambrose die erste Patientin mit einem Schädelcomputertomographen untersucht. Für die Bildrekonstruktion wurde hier noch eine Rechenzeit von zwei Tagen benötigt.

"It is possible, that this technique may open up a new chapter in x-ray diagnosis", schrieb Hounsfield 1973 (37) bei der Vorstellung seines neuen Röntgenverfahrens für den klinischen Einsatz; gleichzeitig wurden von Ambrose die ersten klinischen Ergebnisse publiziert (3).

1979 wurden Hounsfield und Cormack mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet.

Die weitere Entwicklung zum Ganzkörpercomputertomographen begann 1974 in den USA mit experimentellen Studien, bei denen menschliche oder tierische Organe im Schädel-Scanner untersucht wurden (1). Dabei wurden die ersten Tabellen für Strahlenabsorptionswerte menschlicher Gewebe aufgestellt. Im gleichen Jahr konnten in den USA die ersten Ganzkörper-Scanner eingesetzt werden (ACTA-Scanner, Delta-Scanner); erste Veröffentlichungen zeigten, daß es möglich ist, mit der Computertomographie zwischen normaler und pathologischer Anatomie zu unterscheiden (2,66).

Diese Geräte hatten Aufnahmezeiten von ca. 7 Minuten pro Einzelschicht; die Bildqualität wurde also noch stark durch Bewegungsartefakte eingeschränkt. Mit der Entwicklung neuer Geräte-Generationen wurde die Aufnahmezeit für die einzelne Schicht auf wenige Sekunden reduziert, die Bildqualität und die bildliche Auflösung wurden entscheidend verbessert.

Mit Einführung der Ganzkörpercomputertomographie wurden erste Wirbelsäulenuntersuchungen durchgeführt (14,17,31). Die Indikation blieb zunächst auf kongenitale Mißbildungen und primäre oder metastatische Tumoren der Wirbelsäule oder der angrenzenden Weichteile beschränkt. Noch 1980 schreibt Hübner (38): "Eine Indikation zur computertomographischen Untersuchung bei Verdacht auf einen Bandscheibenprolaps ist mit der heutigen Technik nicht gegeben". Aus der zu geringen Dichtedifferenz zwischen Diskus und Spinalkanal ergaben sich hier die größten diagnostischen Schwierigkeiten. So mangelt es auch nicht an Versuchen, die Diagnostik durch intrathekale Kontrastmittelgabe zu verbessern (Computer assisted myelography; 18). Schröder und Lackner (69) wiesen neben der computertomographischen Diagnostik der spinalen Stenose auch auf die Möglichkeit der Diagnostik von Bandscheibenvorfällen hin. Lackner und Schröder (47) sowie Junges und Zwicker (41) veröffentlichten erste Ergebnisse der computertomographischen Diagnostik bei lumbalen Bandscheibenvorfällen.

1.2 Klinisches Bild und Bedeutung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule

1.2.1 Ursachen und Häufigkeit

Die Hauptursache der allgemeinen Bandscheibendegeneration beim Menschen liegt in der frühzeitigen Alterung des bradytrophen Gewebes, die durch statisch-mechanische Einflüsse begünstigt wird. Fehl- und Überbelastung der Wirbelsäule spielen die wesentliche Rolle bei der Bandscheibendegeneration, anlagebedingte Faktoren und erbliche Belastung sind eher von untergeordneter Bedeutung (46).

Mit Beginn der aufrechten Haltung des Menschen zwischen 1. und 2. Lebensjahr verlieren die Zwischenwirbelräume ihre ernährenden Blutgefäße (8,87); dies ist als Folge der anhaltenden axialen Belastung anzusehen. So stellt die Bandscheibe das größte zusammenhängende, nichtvaskularisierte Gebilde des Organismus dar (46). Diese verschlechterte Ernährungslage hat Rückwirkungen auf Qualität und Quantität des Bindegewebes und erlaubt bei entsprechender Belastung eine frühzeitige Alterung, die durch Abnahme der Mukopolysaccharide und des Wassergehaltes der Bandscheibe gekennzeichnet ist. Die angrenzenden Wirbelkörper reagieren auf die veränderte Bandscheibenstruktur mit Kantenausziehungen, die bis zur Brückenbildung zwischen Wirbelkörpern führen können (Spondylosis deformans).

Fast jeder Mensch leidet im Laufe seines Lebens an positionsabhängigen Wirbelsäulenbeschwerden, die ihre Ursache in der Bandscheibendegeneration haben. Jeder zweite Patient, der eine orthopädische Praxis aufsucht, leidet an einem Bandscheibensyndrom. Die Häufigkeit einer Spondylosis deformans auf dem Boden einer Diskopathie um das 50. Lebensjahr ist bei Frauen mit 60 % und bei Männern mit 80 % anzusetzen (20). Der Altersgipfel bandscheibenbedingter Erkrankungen liegt zwischen dem 40. und 50. Lebensjahr, wobei Männer und Frauen etwa zu gleichen Teilen betroffen sind. Die Lendenwirbelsäule ist in ca. zwei Dritteln der Fälle betroffen, die Halswirbelsäule in ca. einem Drittel; Thorakalsyndrome sind äußerst selten (46).

1.2.2 Pathologische Anatomie und Pathophysiologie

Als erste Zeichen einer Bandscheibendegeneration entstehen Risse in den zentralen Abschnitten des Anulus fibrosus der Bandscheibe, in welche durch wechselnde Druckbelastung der Wirbelsäule Teile des Nucleus pulposus eindringen können. Die Folge sind intradiskale Massenverschiebungen, die dann bei dorsaler oder dorsolateraler Vorwölbung in den Spinalkanal als Protrusion imponieren. Charakteristisch für eine Bandscheibenprotrusion ist die wechselnde Symptomatik, die als Ausdruck des noch intakten osmotischen Systems der Bandscheibe anzusehen ist. Das vorgewölbte Bandscheibengewebe kann noch allen Druck-, Volumen- und Konsistenzänderungen der Zwischenwirbelscheibe folgen. Dringen die Massen des Nucleus pulposus weiter innerhalb des Bandscheibenrings vor und kommt es dabei zur Sprengung des Anulus fibrosus, so spricht man von einem Bandscheibenprolaps. Eine Rückverlagerung des Gewebes ins Zentrum der Bandscheibe ist dann nicht mehr möglich. Tritt bei gleichzeitiger Ruptur des hinteren Längsbandes Bandscheibengewebe direkt in den Spinalkanal ein, spricht man von freier Sequestration (20,21,46).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß es sich bei den Begriffen "Protrusion" und "Prolaps" um pathologisch-anatomische Bezeichnungen handelt. Klinische und radiologische Diagnostik (Myelographie und CT) können jeweils nur den Verdacht auf den einen oder anderen Zustand des Bandscheibengefüges erbringen. Bei der Befundbeschreibung sollte daher eher zurückhaltend mit diesen beiden Begriffen umgegangen werden. Lediglich die Diskographie erlaubt in vivo einen Einblick in das Bandscheibengefüge (21).

1.2.3 Klinisches Bild

Das klinische Bild bandscheibenbedingter Erkrankungen im Bereich der Lendenwirbelsäule läßt sich grob in drei Stadien einteilen: Kreuzschmerz, Lumbago, Ischialgie (39).

a) Kreuzschmerz

Chronisch-rezidivierende Kreuzschmerzen entstehen durch Volumen- oder Elastizitätsveränderungen der Bandscheiben. Unphysiologische Belastung der Wirbelgelenke und Hypertonie der Rückenmuskulatur bei gleichzeitiger Muskelischämie sind für die Schmerzentstehung hauptsächlich verantwortlich (46,84). Schmerzverstärkung bei axialer Belastung der Wirbelsäule (z.B. bei schwerem Heben oder Tragen) sind ebenso typisch wie der morgendliche Entlastungsschmerz. Durch die nächtliche Erschlaffung der Rückenmuskulatur werden bei bestehender Bandscheibenlockerung schmerzhafte, unphysiologische Stellungen der Wirbelsäule ermöglicht.

b) Lumbago

Die Lumbago ("Hexenschuß") stellt die akute Form des bandscheibenbedingten Lumbalsyndroms dar. Im Vordergrund steht meist ein akut einsetzender, schmerzhafter Lumbalspasmus. Weitere Symptome sind eine ausgeprägte Bewegungseinschränkung der Lendenwirbelsäule und der Klopf- und Rüttelschmerz der lumbalen Dornfortsätze; objektivierbare neurologische Symptome fehlen. Mögliche Ursachen sind die Irritation des hinteren Längsbandes durch eine intradiskale Massenverschiebung sowie Stauchung oder Zerrung der kleinen Wirbelgelenke (39,46).

c) Ischialgie

Der Übergang von der Lumbago zur Ischialgie, bei der radikuläre Symptome hinzukommen, ist fließend. Leitsymptome sind neben den bereits beschriebenen Zeichen des Lumbalsyndroms: segmental ausstrahlende Schmerzen, segmentale Sensibilitätsstörungen, Reflexstörungen, motorische Störungen sowie pathologische Nervendehnungszeichen. Die Ischialgie entsteht durch direkte Reizung der spinalen Wurzeln im Spinalkanal oder während ihres Verlaufs durch die Foramina intervertebralia. Durch eine exakte neurologische Diagnostik der oben beschriebenen Störungen lassen sich einzelne Wurzelreizsyndrome unterscheiden. Unter Berücksichtigung der anatomischen Lage der Nervenwurzeln im Spinalkanal zu den Zwischenwirbelräumen sind Rückschlüsse auf die Lokalisation des pathologischen Geschehens möglich. Besteht lediglich eine Lumbago, ist diese Möglichkeit nicht gegeben (39,46).

d) Wurzelreizsyndrome

Bei bestehendem Bandscheibenschaden gibt Krämer (46) für die einzelnen lumbalen Reizsyndrome folgende Häufigkeiten an:

L4-Syndrom	1 %
L5-Syndrom	43,8 %
S1-Syndrom	54,2 %

Die restlichen 1 % entfallen auf Syndrome der Wurzeln L1 bis L3.

In den folgenden Abschnitten sollen kurz die monoradikulären Wurzelreizsyndrome der LWS mit ihren Leitsymptomen vorgestellt werden. Sind mehrere Wurzeln betroffen, kommt es zur Addition der entsprechenden Symptomatik (7,19,39,46,54,80,81).

L1- und L2-Syndrom

Eine klinische Differenzierung zwischen L1- und L2-Syndrom ist nicht möglich, für beide gelten:

Schmerz- und Hypästhesiezone: Von der LWS nach vorn in die Leistengegend ausstrahlend

Motorische Störungen und Reflexausfälle: Keine

Nervendehnungszeichen: Femoralisdehnungszeichen ("umgekehrter Lasègue") kann positiv sein

L3-Syndrom

Schmerz- und Hypästhesiezone: Vorderaußenseite des Oberschenkels

Paresen bzw. Atrophie: M. quadriceps femoris

Reflexausfälle: Patellarsehnenreflex (PSR)

Nervendehnungszeichen: Femoralisdehnungszeichen positiv

L4-Syndrom

Schmerz- und Hypästhesiezone:	Distaler äußerer Oberschenkel, über das Knie zur Innenseite des Unterschenkels
Paresen bzw. Atrophie:	M. quadriceps femoris (besonders M. vastus medialis) und M. tibialis anterior
Reflexausfälle:	Patellarsehnenreflex (PSR)
Nervendehnungszeichen:	Lasègue-Zeichen in 50 % der Fälle positiv

L5-Syndrom

Schmerz- und Hypästhesiezone:	Hinteraußenseite des Oberschenkels, Vorderaußenseite des Unterschenkels, medialer Fußrücken bis über die Großzehe
Paresen bzw. Atrophie:	M. extensor hallucis longus, M. tibialis anterior, M. extensor digitorum brevis
Reflexausfälle:	Tibialis-posterior-Reflex (TPR)
Nervendehnungszeichen:	Lasègue-Zeichen positiv

S1-Syndrom

Schmerz- und Hypästhesiezone:	Hinterseite von Ober- und Unterschenkel, lateraler Fußrücken
Paresen bzw. Atrophie:	M. fibularis brevis, M. gastrocnemius (caput mediale)
Reflexausfälle:	Achillessehnenreflex (ASR)
Nervendehnungszeichen:	Lasègue-Zeichen positiv

Kaudasyndrom

Eine Sonderform der polyradikulären Syndrome ist das Cauda-equina-Syndrom, bei dem sämtliche Sakralwurzeln akut komprimiert werden (z.B. durch einen medialen Massenprolaps). Typische Symptome sind Reithosenanästhesie,

beiderseits Ausfall des Achillessehnenreflexes (ASR), Schwäche der Wadenmuskulatur und Schließmuskelinsuffizienz von Blase und Mastdarm.

e) Zuordnung des neurologischen Befundes zu den Zwischenwirbelräumen

Trotz Bestehen eines eindeutigen monoradikulären Wurzelreizsyndroms ist es nicht möglich, ohne weitere Diagnostik den verursachenden pathologischen Befund exakt zu lokalisieren. Die dabei auftretenden Schwierigkeiten ergeben sich aus der anatomischen Lage der einzelnen Nervenwurzeln zu den Zwischenwirbelräumen und aus der Lokalisation des Bandscheibenvorfalls im Zwischenwirbelraum. Abbildung 1 soll verdeutlichen, daß z.B. eine Schädigung der Wurzel L5 durch einen mediolateralen Prolaps in Höhe L4/L5 (II) **oder** auch durch einen weit lateral liegenden Prolaps in der Etage L5/S1 (III) verursacht werden kann. Entsprechendes gilt für alle anderen Bandscheibenetagen. Mediale Vorfälle (I) führen bei typischer Ausprägung zu symmetrischer neurologischer Symptomatik, eine Abgrenzung zu bilateralen lateralen Befunden ist nicht möglich.

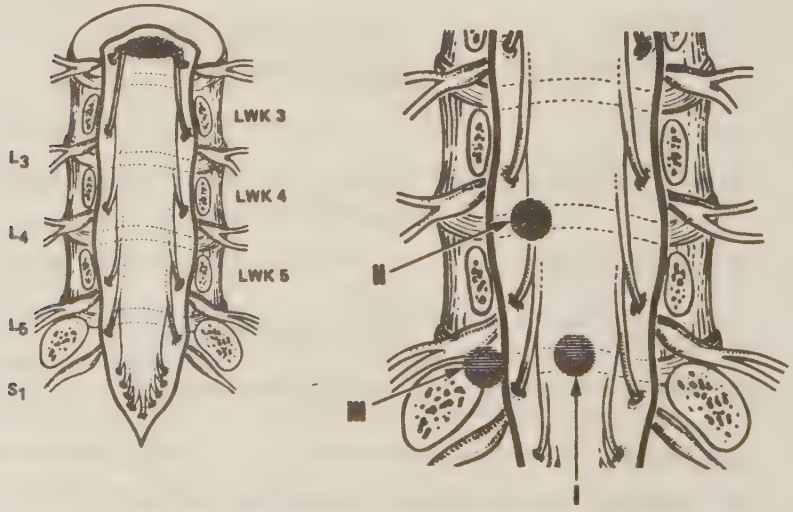


Abbildung 1: Links: Schematischer Longitudinalschnitt der unteren Lendenwirbelsäule mit Darstellung der unteren lumbalen Nervenwurzeln. Rechts: Demonstration typischer Lokalisationen lumbaler Bandscheibenvorfälle. I = medialer Vorfall, II = mediolateraler Vorfall, III = extrem lateraler Vorfall

Die Entwicklung eines Kaudasyndroms läßt auf einen medialen Massenprolaps schließen, wobei aber die Höhe der Bandscheibenschädigung nicht sicher bestimmbar ist, wenn beispielsweise ein Prolaps im Spinalkanal nach kaudal sequestriert ist.
Da oft auch polyradikuläre bzw. atypische Symptomatiken ohne Beziehung zu einer Nervenwurzel vorliegen, müssen neben der neurologischen Untersuchung weitere diagnostizierende Verfahren zur Lokalisation des pathologischen Befundes gefordert werden.

1.2.4 Therapie

An dieser Stelle soll ein kurzer Überblick über die Möglichkeiten der konservativen sowie die Indikationen zur operativen Therapie bei lumbalen Bandscheibenerkrankungen gegeben werden (24,39,46,81).

In der konservativen Therapie können die folgenden Verfahren zum Einsatz kommen:

- Entlastende Lagerung bzw. Extension des Patienten
- Applikation von Wärme (Fangopackungen, Bäder)
- Pharmakotherapie (Analgetika, Antiphlogistika)
- Massagen (nicht in der akuten Phase einer Lumboischialgie)
- Elektrotherapie
- Paravertebrale oder peridurale Injektionen von Lokalanästhetika
- Intrathekale Kortikoidinjektionen

Als operatives Verfahren wird die Ausräumung des erkrankten Bandscheibenfachs nach interlaminärer Fensterung bzw. Hemilaminektomie durchgeführt. Als Indikationen zur Diskotomie gelten (46):

- absolute Indikation: Cauda-equina-Syndrom, akut einsetzende Lähmungen
- relative Indikation: Therapieresistentes oder chronisch-rezidivierendes Wurzelreizsyndrom

Zwischen konservativer und operativer Therapie ist die Chemonukleolyse anzusiedeln. Hierbei wird ein proteolytisches Enzym (Chymopapain) intradiskal appliziert, woraus eine Reduktion von Volumen und Druck des Discus intervertebralis resultiert, die zur Entlastung der bedrängten Nervenwurzel führt. Die Erfolgsquote ist dabei mit etwa 80 % anzusetzen (24).

1.2.5 Prognose

Zur Einschätzung der operativen Therapie werden hier kurz die Ergebnisse einiger Sammelstatistiken wiedergegeben:

Autor	Jahr	n	"gut"	"mäßig"	"schlecht"
Thomalske, Schäfer (86)	1973	924	92,5 %		7,5 %
Keyl et al. (43)	1974	933	90 %		10 %
Oppel, Schramm (58)	1976	3288	88 %	10 %	2 %

Als Ursache für rezidivierende Beschwerden nach Nukleotomie gibt Bartsch (6) folgende Aufstellung an:

1. Echte Rezidive
2. Pseudorezidive durch Segmentlockerung nach Nuklectomie mit Verkleinerung der Foramina intervertebralia (ein Drittel des von Bartsch untersuchten Krankengutes zeigte klinische und röntgenologische Zeichen einer Segmentlockerung)
3. Entzündliche Veränderungen (Spondylodiszitis)
4. Tumoröse Veränderungen bei primär falscher OP-Indikation
5. Arthrotische Veränderungen
6. Psychosomatische Schmerzzustände

Außerdem müssen postoperative Narben im Spinalkanal in einigen Fällen für fehlende Beschwerdefreiheit angeschuldigt werden.

1.3 Konventionelle radiologische Diagnostik bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS

1.3.1 Röntgen-Leeraufnahmen der LWS

Da Bandscheibengewebe im Röntgenbild nicht schattengebend ist, ist man bei der Beurteilung von Röntgen-Leeraufnahmen der Lendenwirbelsäule zum Nachweis oder Ausschluß eines Bandscheibenschadens auf indirekte Zeichen angewiesen. Von besonderer Wichtigkeit sind dabei die Aufnahmen im seitlichen Strahlengang, bei denen die Zwischenwirbelräume überlagerungsfrei abgebildet werden. Schrägaufnahmen erleichtern die Diagnostik im Bereich der kleinen Wirbelgelenke.

Folgende Veränderungen gelten als Ausdruck einer Bandscheibendegeneration (11,32):

a) Verschmälerung des Intervertebralraums
b) Knochenrandwülste
c) Sklerosierung der Grund- und Deckplatten der Wirbelkörper
d) Verkalkungen im Bereich des hinteren Längsbandes
e) Aufhellungen im Zwischenwirbelraum (Vakuumphänomen)
f) Bandscheibenverkalkungen

Die Zeichen a) bis c) werden als Osteochondrose zusammengefaßt; Vakuumphänomene und Bandscheibenverkalkungen sind Hinweise auf Rißbildungen in der degenerierten Bandscheibe. Die Pseudo-Spondylolisthesis gibt einen Hinweis auf eine Segmentlockerung, deren Ursache ebenfalls in einer Bandscheibendegeneration liegen kann. Alle hier genannten röntgenologischen Zeichen einer Bandscheibenerkrankung können aber nie einen Bandscheibenvorfall beweisen, da das prolabierte Gewebe im Spinalkanal selbst nicht dargestellt wird.

Bei einer geplanten computertomographischen Untersuchung der Lendenwirbelsäule kann man jedoch nicht auf eine Röntgenleeraufnahme verzichten, da mit ihrer Hilfe Übergangsvariationen der Wirbelsäule mit Lumbalisation oder

Sakralisation einzelner Wirbelkörper erkannt werden können. Die Kenntnis über das Vorliegen einer solchen Anomalie hilft, Fehler bei der Benennung der Zwischenwirbelräume bei geplanter invasiver Therapie (Injektion, Operation) zu vermeiden.

Da zu Beginn der CT-Untersuchung ein digitales Radiogramm ("Topogramm", "Scout-View") angefertigt wird, kann in vielen Fällen auf Übersichtsaufnahmen verzichtet werden.

1.3.2 Myelographie

1.3.2.1 Historisches und Entwicklung

Die erste Myelographie mit dem negativen Kontrastmittel Luft führte Dandy im Jahre 1919 durch (16). Die Kontrastdarstellung des Spinalkanals mit Hilfe von Luft ist zwar relativ komplikationsarm, führte aber zu unbefriedigenden Ergebnissen, da keine großen Kontrastierungen erreicht werden konnten. Weiterhin fehlt die diagnostisch wichtige Darstellung der Wurzeltaschen. Als erstes positives Kontrastmittel wurde im Jahre 1922 das Jodöl Lipoidol von Sicard und Forestier eingeführt (76). 1931 wurde erstmals ein wasserlösliches, vollständig resorbierbares Kontrastmittel von Arnell und Lindström zur lumbalen Myelographie eingesetzt (5). Die von ihnen benutzte Substanz Abrodil zeigte jedoch häufig zum Teil erhebliche Nebenwirkungen, wie Krampfanfälle, Atem- und Kreislaufdepressionen, Paraplegien. Jeder Abrodil-Myelographie mußte eine Lumbalanästhesie vorausgehen, da diese Substanz starke Irritationen der sensorischen Nervenfasern hervorruft. Die Einführung des Dimeglumin-iocarmats (Dimer X®) im Jahre 1968 stellte einen großen Fortschritt in bezug auf Kontrastdarstellung und Verträglichkeit dar; Erfahrungsberichte liegen u.a. vor von Braband (10), Gottesleben (25) und Nachemson (55). 1973 wurde ein nichtdissoziierendes Kontrastmittel entwickelt. Diese Substanz mit dem Namen Metrizamid (Amipaque®) zeigt weniger Nebenwirkungen als das Dimer X und stellt heute das Mittel der Wahl dar (77,78,79).

1.3.2.2 Untersuchungstechnik

Nach Lumbalpunktion (L2/3 oder L3/4) und Liquorentnahme zu diagnostischen Zwecken wird das Kontrastmittel langsam (innerhalb von 30 s) in den Subarachnoidalraum injiziert. Der Patient befindet sich dabei in Seitenlage, der Oberkörper ist leicht angehoben. Beim heute gebräuchlichsten Kontrastmittel Metrizamid beträgt die zur lumbalen Myelographie benötigte Menge 10 - 15 ml einer Lösung mit einer Jodkonzentration von etwa 170 mg J/ml; es kommen aber auch höhere Konzentrationen zur Anwendung.

Bei der lumbalen Myelographie werden folgende Röntgenaufnahmen angefertigt:

- Aufnahme im a.-p. Strahlengang
- streng seitliche Aufnahmen
- zwei Schrägaufnahmen (45 °) zur Darstellung der jeweils plattennahen Wurzeltaschen

Gegebenenfalls kann die Untersuchung durch Funktionsaufnahmen in Flexion bzw. Extension ergänzt werden.

Nach Beendigung der Untersuchung ist der Patient für mindestens 6 Stunden mit um wenigstens 15 ° erhöhtem Oberkörper zu lagern (49,61,79).

1.3.2.3 Indikation

Die Indikation zur Myelographie betrifft alle Zustände mit Verdacht auf Kompression nervaler Strukturen im Spinalkanal verschiedenster Genese: Verlagerung von Bandscheibengewebe, Tumoren, Frakturfragmente. Ausschlaggebend ist dabei die klinisch-neurologische Symptomatik (46,61).

1.3.2.4 Nebenwirkungen und Risiken

Hier muß unterschieden werden zwischen kontrastmittelspezifischen Nebenwirkungen und Risiken, die durch das technische Vorgehen bei der Untersuchung (Lumbalpunktion) entstehen. Eine derartige Trennung gelingt nicht immer, für

den Patienten ist sie weitgehend ohne Bedeutung, da ihn hauptsächlich das Risiko "Myelographie" als Ganzes interessiert.

Als Komplikationen der Lumbalpunktion gelten:

- Blutung
- Infektion mit nachfolgender Meningitis
- Kopfschmerzen und Übelkeit

Nebenwirkungen des Kontrastmittels (hier: Metrizamid) können sein (40):

> Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen, Benommenheit, Schmerzen oder Verstärkung von Schmerzen im Rücken, Nacken oder an den Extremitäten, Muskelspannungen, kurzzeitige leichte Paresen oder Parästhesien, unspezifische EEG-Veränderungen, Hyperexzitationssyndrome (epileptiforme Krämpfe, Fibrillationen, Faszikulationen)

Hyperexzitationssyndrome können besonders dann auftreten, wenn Kontrastmittel in die intrakraniellen Räume vordringt (Cave Lagerung!). Über die Häufigkeit dieser sicher seltenen Nebenwirkungen herrscht Uneinigkeit.

Die häufigste Nebenwirkung "Kopfschmerz" wird von Irstam (40) mit einer Häufigkeit von ca. 34 % angegeben; Krämer (46) dagegen berichtet darüber nur in etwa 10 % seiner Fälle.

1.3.2.5 Myelographische Befunde

Die Myelographie ist eine Kontrastdarstellung des Subarachnoidalraums; dieser umgibt im lumbalen Wirbelsäulenabschnitt die Fasern der Cauda equina und begleitet die aus dem Spinalkanal austretenden Nervenwurzeln bis in die Foramina intervertebralia. Kommt es zur Kompression des Duralsackes von außen (z.B. durch einen Prolaps), verengt sich der Subarachnoidalraum an dieser Stelle und es entsteht das Bild der Kontrastmittelaussparung. Im Falle eines Bandscheibenvorfalls ist das Ausmaß dieser Kontrastmittelaussparung abhängig vom Abstand des Duralsackes von der dorsalen Wirbelkörperfläche. Ist dieser

Abstand groß, kann selbst ein ausgedehnter Diskusprolaps nur eine geringgradige Aussparung des Kontrastmittels hervorrufen. Dies betrifft besonders die Etage L5/S1, da hier der Abstand des Duralsackes von den Wirbelkörpern am größten ist (12).

Pathologische Befunde bei der a.-p. Aufnahme sind Verdrängungen, Teilabbrüche oder das vollständige Fehlen einzelner Wurzeltaschen (Abb. 2). Weiterhin können sich seitliche Eindellungen der Kontrastmittelsäule darstellen (Abb. 3); ein vollständiger Abbruch der Kontrastmittelsäule findet sich beim ausgeprägten Massenprolaps (Abb. 4). Bei Unregelmäßigkeiten im Bereich der Wurzeltaschen ist stets der Vergleich mit der Gegenseite entscheidend. Die Seitenaufnahmen zeigen bei einem Bandscheibenvorfall eine Eindellung der Kontrastmittelsäule in Höhe des betroffenen Zwischenwirbelraums oder eine pathologische Abdrängung der Kontrastmittelsäule von der Wirbelkörperhinterfläche. Wellenförmige Eindellungen des Duralsackes in allen Segmenten können bei Patienten höheren Alters physiologisch sein.

Auf den Schrägaufnahmen lassen sich die jeweils plattennahen Wurzeltaschen beurteilen. Als prolapsverdächtig gelten auch hier Verdrängung oder Abbruch (Amputation) der Wurzeltaschen. Zusätzlich wird die laterale Kontur des Duralsackes abgebildet (12,49,61,79,85).

Verallgemeinert gilt, daß mediale Vorfälle am besten auf den Schräg- und Seitenaufnahmen darstellt werden können, während laterale Bandscheibenverlagerungen eher nach der a.-p. Aufnahme diagnostiziert werden.

Diagnostische Schwierigkeiten entstehen bei kleinen medialen Protrusionen in Höhe L5/S1 durch den größeren Abstand der Kontrastmittelsäule vom Wirbelkörper (siehe oben). Insgesamt nimmt die Darstellbarkeit eines Bandscheibenvorfalls im Myelogramm von medial nach lateral hin ab (12).

Abbildung 2: Myelogramm a.p.; Bandscheibenvorfall L5/S1 rechts, die Wurzeltasche S1 rechts stellt sich nur unvollständig dar (Pfeil).

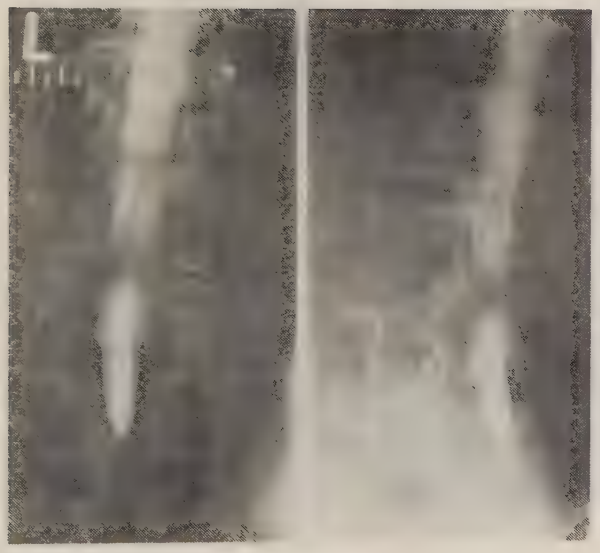


Abbildung 3: Myelogramm a.p. (links) und linksanliegende Schrägaufnahme (rechts); Bandscheibenvorfall L4/5 mediolateral, Eindellung der Kontrastmittelsäule und Verdrängung der Nervenwurzeln linksseitig in Höhe des Bandscheibenfachs L4/5.

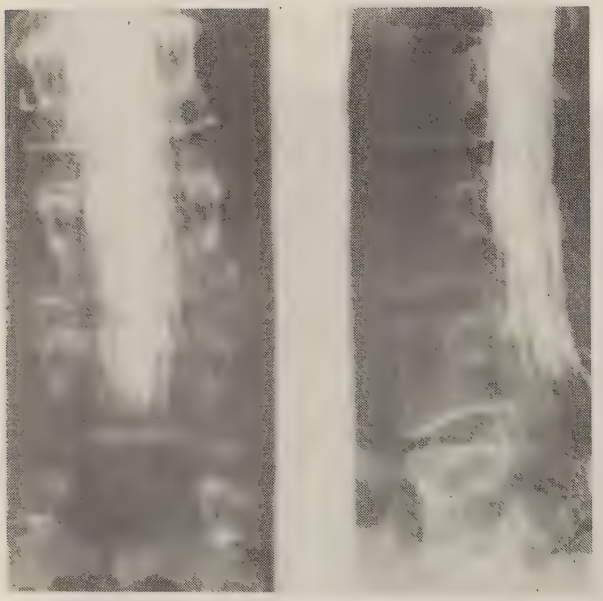


Abbildung 4: Myelogramm a.p. (links) und linksanliegende Schrägaufnahme (rechts); Massenprolaps mit vollständiger Verlegung des Spinalkanals in Höhe L4/5, Abbruch der Kontrastmittelsäule in dieser Höhe; Abbildung 12 zeigt das entsprechende Computertomogramm.

1.3.3 Diskographie

Die Diskographie ist die röntgenologische Methode zur Darstellung des Hohlraumsystems der Bandscheibe mit Hilfe der Instillation eines Kontrastmittels (z.B. Angiografin®) in die Bandscheibe. Die Punktion der Bandscheibe erfolgt dabei in Seitenlage bei maximal gebeugten Hüftgelenken; laterales, dorsolaterales oder auch transdurales Vorgehen ist an der lumbalen Wirbelsäule möglich. Eine degenerativ veränderte Bandscheibe nimmt etwa eine Kontrastmittelmenge von 2 - 4 cm^3 auf, der normale Bandscheibeninnenraum läßt sich nur mit einer wesentlich geringeren Flüssigkeitsmenge auffüllen.

Beim Normalbefund stellt sich der Bandscheibeninnenraum als linsenförmige Kontrastmittelansammlung dar; bei der pathologisch veränderten Bandscheibe ist er zerklüftet oder er besteht auf mehreren Kammern.

Die Bedeutung der Diskographie besteht hauptsächlich in der Differenzierung zwischen Prolaps und Protrusion, da diese Methode einen direkten Einblick in das anatomische Gefüge von Nucleus pulposus und Anulus fibrosus gibt.

Zur Routinediagnostik ist die relativ aufwendige Methode nicht geeignet, da bei älteren Patienten aufgefaserte Bandscheibeninnenräume als Normalbefund angesehen werden müssen (21,44,46,68).

1.4 Ziel der eigenen Untersuchungen

Nach Einführung der Computertomographie in die Diagnostik bandscheibenbedingter Erkrankungen soll die diagnostische Wertigkeit des neuen bildgebenden Verfahrens im Vergleich zur herkömmlichen Methode, der Myelographie, überprüft werden. Dazu ist es zunächst notwendig, bei weitgehend standardisierter Untersuchungstechnik Kriterien für das Vorliegen einer Bandscheibenverlagerung im Computertomogramm zu finden. Aber auch degenerative Wirbelsäulenveränderungen sollen beachtet werden, da durch sie auch die Grenzen der Methode verdeutlicht werden können. Der postoperative Lumbalsitus muß gesondert Beachtung finden, da hier operationsbedingte Veränderungen (Narben) die Beurteilbarkeit der CT und auch der Myelographie stark einschränken können.

Durch die vorliegende Arbeit soll versucht werden, die folgenden Fragen zu beantworten:

- Ist durch Einsatz der Computertomographie eine Verbesserung der präoperativen Diagnostik bei Bandscheibenvorfällen möglich?

- Läßt sich bei der Diagnostik bandscheibenbedingter Erkrankungen die Myelographie durch eine ambulant durchführbare, risikoarme Untersuchungsmethode ersetzen?

- Welche diagnostischen Schwierigkeiten und Probleme ergeben sich bei der lumbalen Computertomographie zum Nachweis eines Bandscheibenvorfalls?

2 MATERIAL UND METHODE

2.1 Prinzip der Computertomographie

2.1.1 Bildentstehung

Die Computertomographie ist ein röntgenologisches Verfahren zur überlagerungsfreien Darstellung beliebig wählbarer transversaler Körperschnittebenen.

Technisch liegt einer computertomographischen Anlage ein System aus einer Röntgenröhre auf der einen Seite des zu untersuchenden Patienten und einem Detektorsystem auf der anderen Seite zugrunde. Von der Röntgenröhre wird ein schmales (der Schichtdicke entsprechendes) Röntgenstrahlbündel ausgesandt, dessen Schwächung auf der Gegenseite des Patienten durch das Detektorsystem aufgenommen wird. Als Detektoren finden Natriumjodid-Szintillationszähler, Halbleiterdetektoren oder Xenon-gefüllte Meßkammern Verwendung. Werden nun während der Rotation des Systems um das zu untersuchende Objekt wiederholt Messungen durchgeführt, so erhält man, je nach Anzahl der erfolgten Messungen, eine Vielzahl von Projektionen des zu untersuchenden Körpers. Aus der Anzahl der Meßdaten ergibt sich eine Bildmatrix. Durch ein geeignetes mathematisches Verfahren läßt sich mit Hilfe eines angeschlossenen Rechners ein Schwächungswert für jeden beliebigen Matrixpunkt errechnen. Die so ermittelten Schwächungswerte eines Körperquerschnittes werden als Grautonstufen auf einem Bildschirm wiedergegeben.

Zur Bildauswertung ist die direkte Messung der Absorptionswerte einzelner Matrixpunkte möglich; die Angabe der relativen Schwächungswerte erfolgt in Hounsfield-Einheiten (HE). Wasser hat dabei eine "Dichte" von 0 HE, Luft von - 1000 HE, Knochenkompakta von 1000 HE. Für die meisten parenchymatösen Organe ergibt sich ein Wert von + 30 bis + 70 HE, Fett liegt bei etwa - 50 bis - 100 HE.

Zur Wahl der Schichtebenen ist die Anfertigung eines digitalen Radiogramms notwendig. Dabei wird bei feststehendem Röhren-Detektor-System der Patient bei eingeschalteter Röntgenstrahlung in Längsrichtung durch das Untersuchungssystem bewegt. Das Ergebnis ist ein Summationsbild des Körpers, ähnlich einer Röntgenübersichtsaufnahme (37,38,63,67,89).

2.1.2 Bildartefakte

Bildartefakte in der Computertomographie sind definiert als Abbildungsfehler, die zu einer Verfälschung des rekonstruierten Bildes führen, so daß keine ausreichende oder eine fehlerhafte Bilddarstellung resultiert (38). Dabei muß zwischen patienten- und gerätebedingten Artefakten unterschieden werden. Bewegungen des Patienten während der Aufnahme von Meßdaten führen zu streifigen hypo- bzw. hyperdensen Bildstörungen, die um so ausgeprägter sind, je größer die Bewegung und der Dichtesprung zwischen bewegtem Objekt und Umgebung ist.

Die wichtigsten gerätebedingten Artefakte sind Aufhärtungsfehler, Kanteneffekte sowie die für Rotationsscanner der 3. Generation typischen Ringartefakte. Aufhärtungsartefakte entstehen an Stellen großer Dichtesprünge, wie z.B. zwischen Knochen und Fettgewebe. Dabei wird im minderdichten Gewebe eine nicht existierende zu hohe Dichte gemessen. Dieser Fehler entsteht durch die Aufhärtung der Röntgenstrahlen im Knochen und kann durch Korrekturrechnungen bei der Bildrekonstruktion nicht vollständig ausgeglichen werden (38,67,75,89).

Ebenfalls an Organgrenzen mit hohen Kontrastsprüngen entsteht der sogenannte Kanteneffekt. Dabei wird ein schmaler, in Wirklichkeit nicht existierender Spalt zwischen den betreffenden Organen simuliert (89).

Ringartefakte können bei Rotationsscannern durch fehlerhafte Detektorjustierung entstehen (38,67,89). Bei entsprechend ungünstiger Lokalisation im Meßfeld können sie Anlaß zu Fehlinterpretationen sein (Abb. 5).

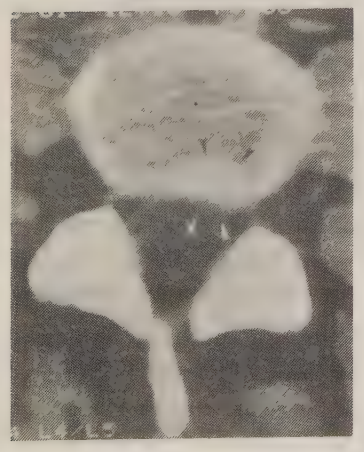


Abbildung 5:

a) Simulation eines Bandscheibenvorfalls durch ein partiell knochenüberlagertes Ringartefakt bei L4/5 (Pfeile).

b) In der angrenzenden Schicht überlagerungsfreie Darstellung des Ringartefaktes (Pfeile)

2.2 Beschreibung des eingesetzten Ganzkörpercomputertomographen

Für die hier beschriebenen Untersuchungen wurde ein Somatom 2 Ganzkörpercomputertomograph der Firma Siemens verwandt. Es handelt sich dabei um ein Gerät der sog. 3. Generation, d.h. ein Fächerstrahlgerät mit rotierender Detektorarray (bestehend aus 512 Einzeldetektoren) und gepulster Röntgenstrahlung. Sämtliche Scans wurden mit Hilfe des "Sektorprogramms" und der formatfüllenden Wiedergabe des zuvor berechneten Sektorfelds ("Zooming") angefertigt. Die Schichtdicke betrug 2 mm bei einem Schichtvorschub von ebenfalls 2 mm.

Im gewählten Untersuchungsprogramm beträgt die Untersuchungszeit pro Einzelschicht 10 Sekunden; die Strahlenbelastung ist bei 125 kV, 460 mAs und 720 Projektionen relativ hoch und beträgt bei mehreren Schichten ca. 5 rd Oberflächendosis im untersuchten Bereich (Dosis pro Einzelschicht 2,3 rd; 15). Bei den hier gewählten Aufnahmeparametern liegt das räumliche Auflösungsvermögen bei unter 1 mm.

2.3 Untersuchungsablauf

2.3.1 Technisches Vorgehen bei der lumbalen CT

Bei der computertomographischen Untersuchung eines Patienten zur Abklärung eines Lumbalsyndroms ist eine spezielle Vorbereitung des Patienten, wie z.B. die intravenöse oder intrathekale Kontrastmittelapplikation, nicht notwendig. Eine Ausnahme kann hier der bereits operierte Lumbalsitus bedeuten (siehe 3.4.6).

Durch eine ausführliche neurologische Untersuchung sollte die Etage der zu erwartenden Bandscheibenläsion vor der computertomographischen Untersuchung möglichst genau abgegrenzt werden, auch wenn der vermutete Bandscheibenschaden in über 90 % der Fälle in den Etagen L4/5 bzw. L5/S1 zu finden ist. Um Verwechslungen der Zwischenwirbelräume beim Vorliegen von sog. Übergangsvariationen der LWS zu vermeiden, müssen diese durch eine Nativröntgenuntersuchung der LWS ausgeschlossen werden. Dies kann jedoch auch durch ein digitales Übersichtsradiogramm ("Topogramm", "Scout-View") geschehen.

Die Untersuchung des Patienten erfolgt in Rückenlage, eine Hyperlordosierung der Lendenwirbelsäule wird durch Beugung in den Hüftgelenken mit Hilfe von Polstern ausgeglichen. Dadurch wird eine Schichteinstellung parallel zum Zwischenwirbelraum ermöglicht; bei einem schrägen Anschnitt der Bandscheibe sind Fehlinterpretationen möglich (siehe unten). Zu Beginn der computertomographischen Untersuchung wird ein seitliches digitales Radiogramm angefertigt, mit dessen Hilfe die Kippung der Scannergantry zur bandscheibenparallelen Schichteinstellung ermöglicht wird. Weiterhin dient es zur Festlegung der Ausgangsschicht (Abb. 6).

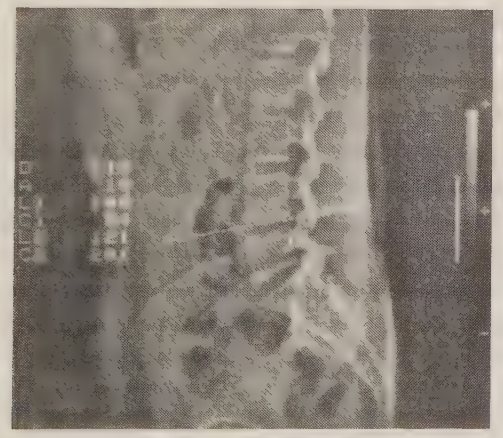


Abbildung 6: Seitliches digitales Übersichtsradiogramm (Topogramm) der LWS mit eingezeichneter bandscheibenparalleler Schnittebene L4/5

Die CT-Untersuchung sollte den gesamten betroffenen Zwischenwirbelraum sowie jeweils ein Drittel der angrenzenden Wirbelkörper betreffen. Dadurch kann auch nach kranial oder kaudal sequestriertes Bandscheibengewebe miterfaßt werden. In einzelnen Fällen kann auch die Schichtung durch einen ganzen Wirbelkörper erforderlich sein. Daraus ergibt sich, daß eine standardisierte

Schichtanzahl zur Untersuchung eines Bandscheibenfachs nicht angegeben werden kann. Bei den eigenen Untersuchungen hat sich eine Schichtdicke von 2 mm bei einem Vorschub von ebenfalls 2 mm bewährt. Bei zu groß gewählter Schichtdicke können diskrete Befunde übersehen werden, außerdem können Partialvolumeneffekte Anlaß zu Fehlinterpretationen geben. Ist der untersuchte Zwischenwirbelraum extrem erniedrigt, kann eine Untersuchung mit überlappenden Schichten versucht werden. Die bei den vorliegenden Untersuchungen gewählten Aufnahmeparameter sind dem Abschnitt 2.2 zu entnehmen.

2.3.2 Schwierigkeiten und Irrtümer durch fehlerhaften Untersuchungsablauf

2.3.2.1 Fensterbreite (window setting)

Voraussetzung zur diagnostisch verwertbaren Darstellung der lumbalen CT-Anatomie ist die Wahl eines geeigneten Grautonspektrums, das eine ausreichend gute Differenzierung der Gewebsdichten von Bandscheibe, intraspinalen Weichteilstrukturen, Paravertebralraum und umgebender Knochenanteile ermöglicht. Der Kontrastumfang des CT-Bildes variiert entsprechend allen in der Schichtebene befindlichen Gewebsdichten. Mit steigendem relativem Anteil höherer Gewebsdichten in der Untersuchungsschicht werden Artefaktbildungen begünstigt bzw. der Einfluß des durch zunehmende Strahlenaufhärtung erhöhten Quantenrauschens auf die Abbildungsqualität wächst (65,73,74,75).

Eine Standardeinstellung der Fensterbreite, wie sie in gewissen Grenzen bei der Untersuchung des Gehirns oder der Leber Anwendung findet, kann nach den eigenen Erfahrungen für die lumbale CT nicht empfohlen werden. Insbesondere die von Patient zu Patient stark streuende Knochendichte (52) macht eine individuell angepaßte Einstellung der Fensterbreite erforderlich.

2.3.2.2 Dicke und Anzahl der Abtastschichten

Die grautonabgestuften Dichtewerte computertomographischer Aufnahmen stellen nie ein ideales Abbild des Untersuchungsobjekts dar, sondern unterliegen methodenspezifischen Verfälschungsphänomenen. Die bei den heute im Einsatz befindlichen Geräten wichtigsten Verfälschungseffekte bestehen im spektralen Aufhärtungseffekt und im nichtlinearen Teilvolumeneffekt (65). Das Ausmaß der Artefaktausprägung durch beide Effekte steht in enger Wechselbeziehung zur gewählten Schichtdicke der transversalen Abtastebene (65). Während sich die Abbildungsgüte homogener Materialschichten bei Wahl einer relativ großen (z.B. 8 mm) Schichtdicke steigern läßt, wird eine gegensätzliche Wirkung bei der Abbildung stark inhomogener Medien beobachtet (74, 75). Der mit zunehmender Materialinhomogenität wachsende Einfluß des partial-volume-Effekts erfordert die Wahl einer möglichst geringen Schichtdicke (z.B. 2 mm).

Grundsätzlich gilt: Je stärker die Umgebungsdichte (hier: Duralsack, Nervenfasern, Knochen) von der des Untersuchungsobjekts (hier: Bandscheibe) differiert, desto größer ist der verfälschende Einfluß des partial-volume-Effekts. Da sich die lumbale CT-Diagnostik keinesfalls nur auf den relativ wenig dichtedifferenten Übergangsbereich Diskushinterfläche / Duralsack beschränkt, sondern auch die Erfassung von in großer Nähe zu degenerativen Wirbelkörperrandzacken auftretenden Begleitvorfällen zum Ziel hat, sollte in Regionen derartig hoher Gewebsdichtesprünge eine Abtastschichtdicke von mehr als 4 mm **nicht** gewählt werden.

Neben der Dicke der Abtastschicht ist die räumliche Anordnung der Einzelschichten von Bedeutung. Die Höhe des Zwischenwirbelfachs nimmt von zervikal nach lumbal von 4 mm auf 12 mm zu (93), wobei erfahrungsgemäß diese Werte im Falle chondrotischer bzw. osteochondrotischer Veränderungen oft deutlich unterschritten werden. Die relative geometrische Enge des Meßfeldes erfordert die lückenlose Legung nahtlos aneinandergrenzender Schichten, da andernfalls die Gefahr besteht, kleinere im Zwischenbereich der transversalen Einzelschichten gelegene Diskusvorfälle zu übersehen. Der zu beurteilende Zwischenwirbelraum sollte zudem vollständig und mit genügendem Abstand zur

angrenzenden kranialen wie auch kaudalen Wirbelkörperendplatte tomographiert werden, da andernfalls sequestriertes Bandscheibengewebe übersehen werden könnte.

2.3.2.3 Anschnittphänomene durch fehlende Planparallelität der Abtastschicht zum Bandscheibenfach

Mit einer Ausnahme (53) herrscht im Schrifttum die Auffassung vor, daß der Abtastschichtwinkel durch Kippung der Gantry möglichst planparallel zur Wirbelkörperendplattenebene gelegt werden sollte, um Anschnittphänomene zu vermeiden (13,15,34,36,42,56,82,83,92). Auf die Möglichkeit der Verwechslung derartiger Anschnitte mit tatsächlich bestehenden Bandscheibenverlagerungen wurde verschiedentlich hingewiesen (36,53,82). Bedingt durch den in manchen Fällen nicht optimal zu erzielenden Ausgleich der Lendenwirbelsäulenlordose sind besonders im Segment L5/S1 ohnehin Anschnittphänomene zu berücksichtigen, deren Kenntnis vor Fehlinterpretationen schützt.

2.4 Patientengut

2.4.1 Ausgewertetes Patientenkollektiv

Zwischen dem 01.02.1981 und dem 30.04.1982 wurden 329 Patienten unter dem Verdacht eines Bandscheibenvorfalls im Bereich der Lendenwirbelsäule computertomographisch untersucht. In diesem Zeitraum wurden in der Radiologischen Klinik im Klinikum Charlottenburg der Freien Universität Berlin insgesamt 3500 Ganzkörpercomputertomogramme angefertigt; der Anteil der Untersuchungen zum Nachweis eines lumbalen Bandscheibenvorfalls betrug somit 9,4 % im Durchschnitt für den obengenannten Beobachtungszeitraum. Weitere Computertumogramme der Wirbelsäule betrafen den Nachweis oder Ausschluß intraspinaler Tumoren, Karzinommetastasen, Wirbelsäulenverletzungen oder degenerativer Veränderungen im Bereich der Halswirbelsäule (siehe auch 2.4.5).

109 Patienten waren zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits stationär in den verschiedensten Abteilungen des Klinikums Charlottenburg aufgenommen, die übrigen 220 Patienten wurden von den einzelnen Polikliniken, anderen Krankenhäusern oder niedergelassenen Ärzten zur ambulanten Untersuchung überwiesen. Der Anteil der ambulant untersuchten Patienten am Patientenkollektiv betrug ca. 67 %.

Von den 329 Patienten waren 179 (55 %) männlichen und 150 (45 %) weiblichen Geschlechts bei einem Altersdurchschnitt von 45,1 Jahren.

2.4.2 Neurologische Symptomatik

Bei 221 Patienten bestand eine eindeutige monoradikuläre oder polyradikuläre Symptomatik, 108 Patienten klagten über lumbale Beschwerden, ohne daß eine radikuläre Zuordnung möglich war. Bei den bestehenden Wurzelreizsyndromen standen S1-Syndrome mit einem Anteil von 28,3 % an erster Stelle, gefolgt von L5-Syndromen (22,8 %) und Kombinationen von L5- und S1-Syndromen (11,6 %). Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Symptomatik, aufgeschlüsselt nach Wurzelreizsyndromen, und ihre Häufigkeit in einzelnen Patientengruppen.

Tabelle 1: Neurologische Symptomatik der Patienten, aufgeteilt nach Wurzelreizsyndromen für verschiebene Patientengruppen.

	Gruppe 1 Summe aller Patienten	Gruppe 2 Patienten, die nicht operiert wurden	Gruppe 3 alle operierten Patienten	Gruppe 4 erstmalig operierte Patienten	Gruppe 2 Patienten mit Rezidiv-Operation
	329 (100,0 %)	198 (100,0 %)	131 (100,0 %)	104 (100,0 %)	27 (100,0 %)
ø radikuläre Symptomatik	108 (32,8 %)	74 (37,4 %)	34 (26,0 %)	26 (25,0 %)	8 (29,6 %)
L3-Syndrom	4 (1,2 %)	2 (1,0 %)	2 (1,5 %)	2 (1,9 %)	-
L4-Syndrom	6 (1,8 %)	5 (2,5 %)	1 (0,8 %)	-	1 (3,8 %)
L5-Syndrom	75 (22,8 %)	39 (19,7 %)	36 (27,5 %)	28 (26,9 %)	8 (29,6 %)
S1-Syndrom	93 (28,3 %)	56 (28,3 %)	37 (28,2 %)	32 (30,8 %)	5 (18,5 %)
L4- + L5-Syndrom	5 (1,5 %)	3 (1,5 %)	2 (1,5 %)	2 (1,9 %)	-
L5- + S1-Syndrom	38 (11,6 %)	19 (9,6 %)	19 (14,5 %)	14 (13,5 %)	5 (18,5 %)

Dabei fällt auf, daß der Anteil der Patienten ohne eindeutige radikuläre Symptomatik in der Patientengruppe der nichtoperierten Patienten mit 37,4 % deutlich höher ist als bei den operierten Patienten (26 %). Auch bei den Patienten, die zur Rezidivoperation kamen, ist der Anteil der Patienten mit fehlender radikulärer Symptomatik relativ hoch. Die Differentialdiagnostik der neurologischen Syndrome erfolgte nach der unter 1.2.3 "Klinisches Bild" aufgestellten Einteilung.

2.4.3 Operierte Patienten

131 Patienten unterzogen sich einer neurochirurgischen Operation, wobei der Zeitraum zwischen computertomographischer Untersuchung und Operationstermin zwischen einem Tag und ca. 4 Monaten lag. Die Operationsindikation wurde neben der klinischen Symptomatik durch die Computertomographie und anfangs auch durch zusätzliche Myelographie gestellt.

Der Anteil der operierten Patienten an den 329 untersuchten Patienten betrug 39,8 %. Unter den operierten Patienten waren 70 männlichen und 61 weiblichen Geschlechts. 104 kamen erstmalig zur Operation, 27 (21 % der operierten Patienten) mußten sich einer Rezidivoperation unterziehen.

Eine Aufschlüsselung der zur Operation führenden Symptomatik gibt Tabelle 1 in den Spalten 3 bis 5.

2.4.4 Myelographierte Patienten

Bei 127 Patienten wurde neben der computertomographischen Untersuchung eine lumbale Myelographie mit Metrizamid (Amipaque®) durchgeführt. In 89 Fällen war vor der Operation eine Computertomographie **und** eine Myelographie durchgeführt worden.

2.4.5 Anteil der Wirbelsäulenuntersuchungen am Patientengut eines Ganzkörpercomputertomographen (CT)

Zu Beginn der Durchführung routinemäßiger CT-Untersuchungen bei Bandscheibenerkrankungen in der Radiologischen Klinik des Klinikums Charlottenburg der Freien Universität Berlin im März 1981 betrug der Anteil dieser Indikation am gesamten ganzkörpercomputertomographisch untersuchten Patientengut 10 %. Bei weiteren 2 % wurde eine CT-Untersuchung der Wirbelsäule aus anderer Indikation (z.B. Tumor) durchgeführt, so daß der Anteil von Wirbelsäulen-CTs ingesamt bei 12 % lag. Dieser Anteil betrug im Juni 1983 28 % der Ganzkörperuntersuchungen, wobei sich für die Indikation lumbaler Bandscheibenvorfall 22 % der Patienten ergaben, jeweils 3 % betrug der Anteil für die Untersuchung bei zervikalen Bandscheibenvorfällen bzw. für sonstige Indikationsstellungen zur Wirbelsäulen-CT.
Diese Entwicklung im Aufkommen computertomographischer Untersuchungen im Bereich der Wirbelsäule zwischen März 1981 und Juni 1983 ist in Abbildung 7 in jeweils dreimonatigen Abständen darstellt.

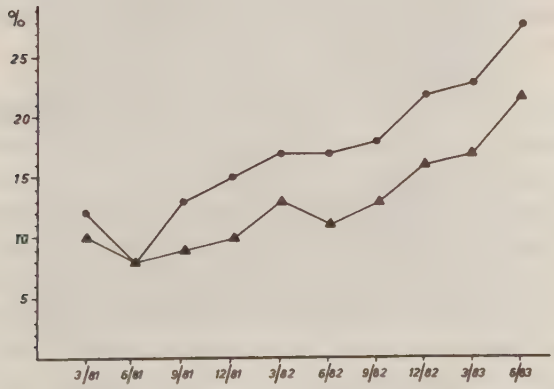


Abbildung 7: Häufigkeit der Indikationen zur spinalen CT insgesamt (Punkte) und der lumbalen CT bei vermutetem Diskusvorfall (Dreiecke); dargestellt ist der prozentuale Anteil an allen Untersuchungen am Ganzkörpercomputertomographen in der Radiologischen Klinik des Klinikums Charlottenburg von März 1981 bis Juni 1983.

3 ERGEBNISSE

3.1 Anatomie der Lendenwirbelsäule im Computertomogramm

Im Computertomogramm gelingt eine überlagerungsfreie Darstellung der lumbalen, spinalen Anatomie im Querschnitt (Abb. 8, 9 und 10).

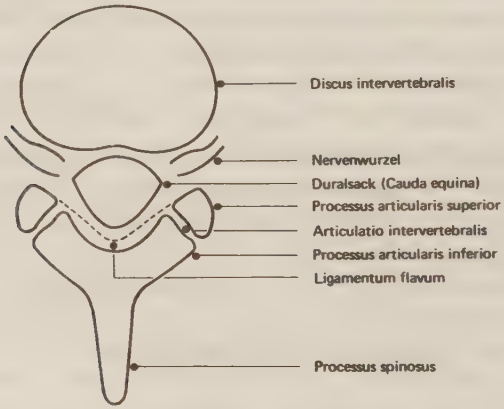


Abbildung 8: Schematischer Querschnitt der Lendenwirbelsäule mit Darstellung der anatomischen Strukturen, die im Computertomogramm abgegrenzt werden können.

Die knöchernen Anteile der Wirbelsäule (Wirbelkörper, Wirbelbögen, Gelenk- und Dornfortsätze) werden bei der für die Prolapsdiagnostik zu verwendenden Fensterlage und Fensterbreite als hyperdense, "helle" Strukturen abgebildet. Messungen der Strahlenabsorption im Computertomogramm an 68 Grund- und Deckplatten der Wirbelkörper L4 und L5 ergaben eine Dichte von 344 HE (SD = 117 HE) im Mittelwert. Hierzu wurde eine Fläche von 1 cm^2 (region of interest) in einer 2 mm dicken Schicht gemessen. Dabei kamen nur solche Schnitte zur Auswahl, bei denen kein Bandscheibengewebe in der entsprechenden Schicht mit angeschnitten war. Die axial angeschnittene Bandscheibe stellt sich im Computertomogramm als homogene Struktur mit einer Dichte zwischen 70 und 90 HE dar.

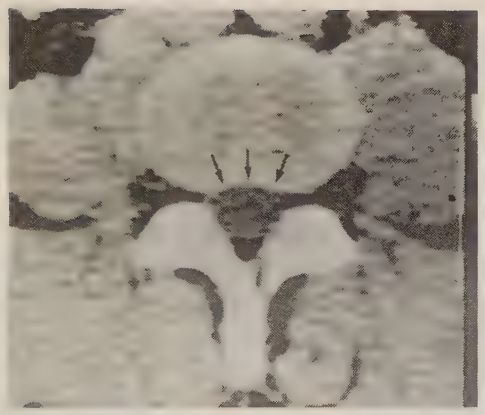


Abbildung 9: Computertomographische Aufnahme der Bandscheibe L4/5, Normalbefund; typische konkavbogige Kontur der Bandscheibenhinterfläche (Pfeil)

Abbildung 10: Computertomographische Aufnahme der Bandscheibe L5/S1, Normalbefund; die Pfeile kennzeichnen die in den Recessus laterales verlaufenden Nervenwurzeln S1 rechts und links.

Tabelle 2 zeigt die durchschnittlichen Strahlenabsorptionswerte, die im Zentrum und in der Peripherie von insgesamt 89 Bandscheiben der Etagen L3/4, L4/5 und L5/S1 gemessen wurden. Die Messungen erfolgten ausschließlich an Bandscheiben, die keinen pathologischen Befund erkennen ließen. Zur Messung in den 2 mm starken Schichten, die frei von Knochenanschnitten waren, wurde eine kreisförmige "region of interest" mit einer Fläche von 1 cm^2 in das Zentrum und an den Rand des jeweiligen Diskus gelegt.

Tabelle 2: Durchschnittliche Strahlenabsorptionswerte ($\bar{x}$ in HE) mit Standardabweichung (SD) für den zentralen (z) und peripheren (p) Anteil von ausgemessenen Bandscheiben in unterschiedlichen Bandscheibenetagen. Der Anteil an Messungen, bei denen eine Differenz von mehr als 15 HE zwischen Zentrum und Peripherie des Diskus ermittelt wurde, ist in der rechten Spalte aufgeführt (siehe auch Text).

		n	$\bar{x}$	SD	HE_p-HE_z > 15
L3/4	Zentrum	8	78,0	9,71	1 (12,5 %)
	Peripherie	8	86,5	7,03	
L4/5	Zentrum	48	72,0	11,29	12 (25,0 %)
	Peripherie	48	83,2	7,97	
L5/S1	Zentrum	33	72,8	8,80	2 (6,1 %)
	Peripherie	33	80,4	9,11	

Der Altersdurchschnitt der hier berücksichtigten Patienten lag bei 43,6 Jahren. In 68 von 89 Fällen wurde im Zentrum des Diskus eine geringere Dichte als in der Peripherie gemessen. Dreimal waren die Werte im Zentrum der Bandscheibe höher als in der Peripherie, 18mal konnte kein Unterschied ermittelt werden. Größere bzw. optisch erkennbare Unterschiede fanden sich jedoch nur in wenigen Fällen; so war eine Dichtedifferenz von mehr als 15 HE nur bei 15 der 89 ausgemessenen Bandscheiben (16,8 %) festzustellen (siehe Spalte "HE_p-HE_z > 15" in Tabelle 2). Eine exakte Trennung zwischen zentral gelegenem, weniger dichtem Nucleus pulposus und dem Anulus fibrosus

in der Peripherie konnte jedoch in keinem der Fälle erfolgen. Bei degenerativen Veränderungen der Zwischenwirbelscheiben können bei manchen Patienten Gaseinschlüsse (negative Absorptionswerte) als sog. Vakuumphänomen nachgewiesen werden (50,59; Abb. 11).

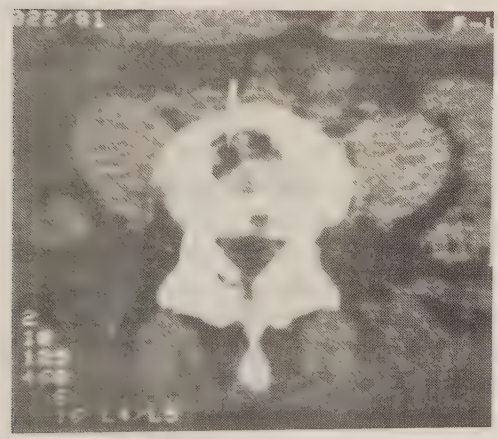


Abbildung 11: Hochgradig degenerierte Bandscheibe L4/5 mit sogenanntem Vakuumphänomen (Pfeil)

Die dorsal konkav konfigurierte Bandscheibe bildet die ventrale Begrenzung des annähernd dreiecksförmigen und nach dorsal spitzwinklig zulaufenden Wirbelkanals. Das hintere Längsband, das mit dem Anulus fibrosus innig verbunden ist (8,46), läßt sich im computertomographischen Querschnitt nicht vom Diskus abgrenzen. Lateral und dorsolateral bilden die Gelenkfortsätze und die Lig. flavae beidseits den Spinalkanal. Innerhalb des Wirbelkanals ist der rundliche, homogen dichte Duralsack erkennbar, in dem ab etwa L1/2 das lumbale Nervenfaserbündel liegt. Dieser ist scharf durch umgebendes Fettgewebe abgegrenzt. Seine Dichte liegt in Höhe L3/4 bei etwa 20 HE und nimmt

nach kaudal hin leicht ab (Tab. 3). Einzelne Nervenwurzeln und umgebender Liquor im Subarachnoidalraum können nicht differenziert werden; die direkte Darstellung des Subarachnoidalraums gelingt nur durch intrathekale Kontrastmittelapplikation (4).

Tabelle 3: Durchschnittliche Strahlenabsorptionswerte ($\bar{x}$ in HE) mit Standardabweichung (SD) für den Duralsack in Höhe verschiedener Bandscheibenfächer

	n	$\bar{x}$	SD
L3/4	8	19,6	10,24
L4/5	46	10,1	9,52
L5/S1	31	1,5	8,18

Die Computertomographie ermöglicht außerdem eine genaue Abbildung der Recessus laterales, die durch die Wirbelkörperhinterfläche, Bogenwurzeln und Gelenkfortsätze gebildet werden. Hierin verlaufen neben den Interspinalvenen die aus dem Duralsack ausgetretenen Nervenwurzeln. Auf die klinische und diagnostische Bedeutung einer Einengung haben Lackner und Schröder (47,69, 70) hingewiesen. Weiter kaudal treten die Nervenwurzeln durch die Foramina intervertebralia, die kranial und kaudal von den Bogenwurzeln, ventral von Bandscheiben und Wirbelkörpern und dorsal von den Gelenkfortsätzen gebildet werden.

Die Nervenwurzeln werden im CT oberhalb der Grundplatte horizontal angeschnitten und im Querschnitt abgegrenzt vom Duralsack dargestellt. In Höhe der Bandscheibe verlaufen die Nervenwurzeln weiter ventrolateral und mehr horizontal, so daß sie teilweise im Computertomogramm schräg angeschnitten in ihrem Verlauf nach ventral durch die Foramina intervertebralia abgebildet werden. Die Foramina nehmen von kranial nach kaudal an Weite ab, während der Durchmesser der Nervenwurzeln von kranial nach kaudal zunimmt (8).

Ventral im Spinalkanal liegen rechts und links zwischen Duralsack und Bandscheibe die anterioren intraspinalen Venen, die bei einer Stauung erst bei einem Durchmesser von 3 mm sichtbar werden (33).

3.2 Diagnostische Kriterien des lumbalen Bandscheibenvorfalls im Computertomogramm

3.2.1 Nomenklatur

Mit der Computertomographie gelingt eine direkte röntgenologische Darstellung von Bandscheibengewebe, es lassen sich jedoch die Strukturen des Bandscheibengefüges nicht voneinander abgrenzen. Eine Differenzierung zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus ist nicht möglich. Somit kann auch nicht das Hindurchtreten von Anteilen des Nucleus pulposus durch den Anulus fibrosus mit der Computertomographie erfaßt werden, was im pathologisch-anatomischen Sinn die Unterscheidung von Prolaps und Protrusion bedeuten würde. Eine derartige Differenzierung wurde versucht (42), nach den eigenen Erfahrungen kann es sich dabei jedoch in der Vielzahl der Fälle nur um eine Verdachtsdiagnose handeln, die sich aus der unterschiedlichen Ausprägung der sicher pathologischen Befunde ergibt. Eine diskrete Vorwölbung der Bandscheibe nach dorsal führt den Betrachter schnell zur Diagnose einer "Protrusion", während bei massiver Verlagerung von Diskusgewebe in den Spinalkanal sich ein "Prolaps" nahezu aufdrängt. In beiden Fällen bleibt die Methode jedoch den Beweis - Riß des Anulus fibrosus - schuldig.

Findet sich bei der computertomographischen Untersuchung Bandscheibengewebe im Spinalkanal in einer Schichtebene kranial oder kaudal der zugehörigen Bandscheibe, kann dieser Befund mit sehr großer Sicherheit als "sequestrierter Prolaps" bezeichnet werden; einen derartigen Befund findet man bei einer Protrusion nie.

3.2.2 Typische computertomographische Befunde beim lumbalen Diskusvorfall

Nach Auswertung der vorliegenden Untersuchungen lassen sich die folgenden Kriterien für das Vorhandensein eines Diskusvorfalls im CT aufstellen:

1. Die normalerweise nach dorsal konkav konfigurierte Bandscheibenrückfläche weist eine konvexbogige Vorwölbung auf. Am lumbosakralen Segment L5/S1 kann eine solche konvexbogige Diskusrückfläche jedoch auch normal sein.
2. Eine asymmetrische Verlagerung der Bandscheibe nach dorsolateral mit fehlender Abgrenzbarkeit einer Nervenwurzel.
3. Die "nasen-" bzw. "zungenförmige" mediale oder mediolaterale Vorwölbung von dichterem fibrösem Bandscheibengewebe in den Periduralraum, möglicherweise mit Kompression des Duralsackes oder einer bzw. beider Nervenwurzeln.
4. Im dargestellten Querschnitt ist der gesamte Spinalkanal von Gewebe höherer Dichte als die der nervalen Strukturen ausgefüllt. Hierbei handelt es sich um einen Massenprolaps ohne Abgrenzbarkeit von Duralsack oder Nervenwurzeln (Abb. 12).
5. Im Foramen intervertebrale findet sich Gewebe mit relativ zu hoher Dichte (extrem lateraler Vorfall).

Weiterhin treten eine Vielzahl von Übergangsformen und Kombinationen der aufgeführten typischen Zeichen eines Diskusvorfalls auf.

Abbildung 12:

a) Massenprolaps L4/5; der Spinalkanal ist vollständig von Bandscheibengewebe ausgefüllt, Nervenwurzeln und Duralsack lassen sich nicht mehr abgrenzen (Myelogramm siehe Abb. 4).

b) In der weiter kaudal gelegenen Schicht ist in Höhe des Wirbelkörpers L5 Bandscheibengewebe (Pfeil) als Sequester im Spinalkanal nachzuweisen.

Nach der Lokalisation im Spinalkanal lassen sich die pathologischen Befunde einteilen in 1. medialen, 2. mediolateralen und 3. extrem lateralen Vorfall (siehe Abb. 1).

ad 1. Beim medialen Prolaps (Abb. 13) bedrängt das vorgetretene Diskusgewebe in erster Linie den Duralsack. Die Nervenwurzeln im Recessus lateralis sind auf beiden Seiten noch abgrenzbar.

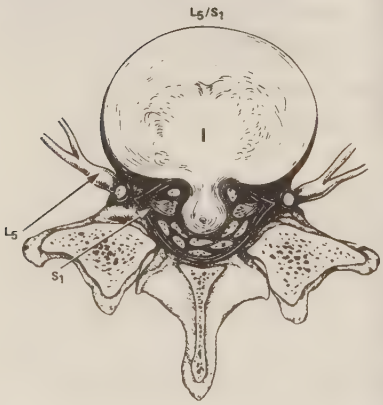


Abbildung 13:

a) Schematische Darstellung eines medialen Bandscheibenvorfalls mit Kompression des Duralsackes von ventral

b) Medialer Vorfall im Computertomogramm; die Bandscheibe wölbt sich medial zungenförmig in den Spinalkanal vor.

ad 2. Der mediolaterale Prolaps (Abb. 14) ist gekennzeichnet durch eine asymmetrische Vorwölbung von Bandscheibengewebe in den Spinalkanal. Dabei ist meist die Nervenwurzel der betroffenen Seite nicht mehr abgrenzbar, während sie auf der Gegenseite noch dargestellt werden kann.

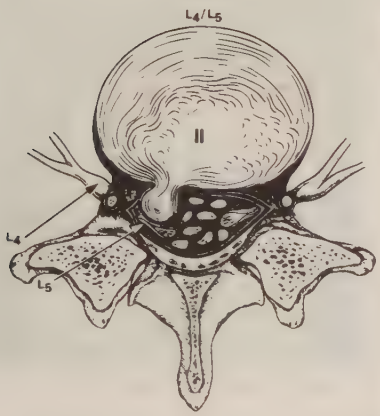


Abbildung 14:

a) Schematische Darstellung eines mediolateralen Bandscheibenvorfalls

b) Mediolateraler Bandscheibenvorfall im Computertomogramm; Vorwölbung der Bandscheibe medial und lateral in den Spinalkanal, Bedrängung des Duralsacks und der im Recessus lateralis verlaufenden Nervenwurzel, die auf der Gegenseite deutlich abzugrenzen ist.

ad 3. Beim extrem lateralen Prolaps (Abb. 15) liegt das hervorgetretene Bandscheibengewebe außerhalb des Spinalkanals im Foramen intervertebrale und bedrängt dort die den Spinalkanal verlassende Nervenwurzel.

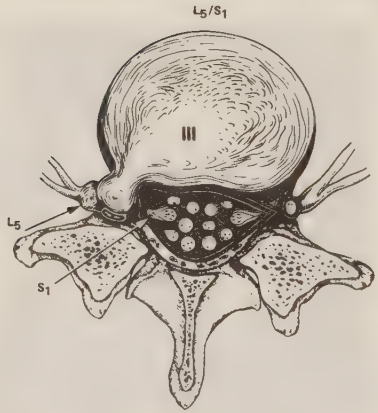


Abbildung 15:

a) Schematische Darstellung eines lateral im Foramen intervertebrale gelegenen Bandscheibenvorfalls

b) Lateraler Bandscheibenvorfall im Computertomogramm; Bandscheibengewebe ist als weichteildichte Struktur (Pfeil) im Foramen intervertebrale zu erkennen.

Diagnostische Schwierigkeiten ergeben sich beim Auftreten einer oder mehrerer der in diesem Abschnitt genannten Kriterien selten. Bei der Untersuchung des bereits operierten Lumbalsegments muß zusätzlich auf postoperative Veränderungen im Bereich des Spinalkanals geachtet werden. Dadurch kann die computertomographische Diagnostik hier zum Teil erheblich erschwert sein.

Derartiges Narbengewebe stellt sich als relativ homogen strukturierte, leicht hyperdense Masse im Spinalkanal dar. Besteht ein Fensterungsdefekt im Wirbelbogen, so ist meist eine Verbindung zwischen diesem und den intraspinalen Narben zu erkennen. Nur wenn sich die Vernarbungen gegenüber dem stark hypodensen epiduralen Fett scharf abgrenzen lassen, bereitet ihre Erkennung keine Schwierigkeiten. Häufig ist aber eine Trennung zwischen narbigen Veränderungen und den intraspinalen nervalen Strukturen (Duralsack, Nervenwurzeln) nicht mehr möglich. Besonders in diesen Fällen ist auch eine Differenzierung zwischen postoperativen Narben und einem Rezidivvorfall erschwert oder unmöglich, da beide Strukturen etwa gleiche Dichtewerte aufweisen können (siehe auch Abschnitt 3.4.6).

3.3 Operationsbefunde

Vorbemerkung: Im folgenden Abschnitt werden die Operationsergebnisse der Patienten abgehandelt, die sich nach computertomographischer Diagnostik einer Bandscheibenoperation unterzogen. Dieses Patientenkollektiv wird, wie auch in den folgenden Abschnitten, in zwei Gruppen eingeteilt:

1. Patienten, die sich in der fraglichen Bandscheibenetage erstmalig operieren ließen (hier "erstmalige Operationen" genannt)
2. Patienten, die sich in der fraglichen Bandscheibenetage einer Rezidivoperation unterzogen

3.3.1 Operationsbefunde bei erstmaligen Operationen

Bei einigen Patienten lagen Veränderungen degenerativer Art in mehreren Bandscheibenetagen vor.

Bei den 104 erstmalig operierten Patienten wurde insgesamt in 120 LWS-Etagen operiert; ihre Aufteilung:

1 mal L2/3
5 mal L3/4
39 mal L4/5
36 mal L5/S1
13 mal L4/5 und L5/S1
2 mal L3/4 und L4/5
1 mal L3/4 und L5/S1
1 mal L4/5 bei 6 Lendenwirbeln (Lumbalisation von S1)
4 mal L5/6 bei 6 Lendenwirbeln (Lumbalisation von S1)
1 mal L3/4 bei 4 Lendenwirbeln (Sakralisation von L5)
1 mal L4/5 bei 4 Lendenwirbeln (Sakralisation von L5)

Von den 120 LWS-Etagen konnten 117 ausgewertet werden, in 3 Fällen war präoperativ kein Computertomogramm in entsprechender Höhe angefertigt worden.

Bei 108 von 117 operierten Zwischenwirbelräumen ergab die Operation einen typischen Befund im Sinne eines Prolapses bzw. einer Protrusion. Nach der Seitenlokalisation ergab sich folgende Einteilung:

56 mal Befund auf der linken Seite
36 mal Befund auf der rechten Seite
16 mal medialer Befund

Auf eine Unterteilung in mediolateralen und extrem lateralen Befund wurde an dieser Stelle verzichtet. Diese Unterscheidung ist hauptsächlich beim Vergleich mit dem CT-Befund von Bedeutung und wird dort gesondert berücksichtigt. Da bei Bandscheibenoperationen ein Zugang zum Wirbelkanal von medial oder lateral geschaffen wird, unterliegt die exakte intraoperative Befundbeschreibung subjektiven Einflüssen, die durch den gewählten Zugangsweg bedingt sind. Die Unterscheidung zwischen medialem und mediolateralem bzw. lateralem Befund kann hierdurch erschwert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde versucht, diesen Schwierigkeiten durch Eintragen des Operationsbefundes in eine vorgegebene Skizze des Lumbalsitus nach der Operation entgegenzutreten.

Neunmal zeigte die Operation einen Befund, der nicht typisch war für einen Vorfall von Bandscheibengewebe. Dabei fand sich in einem Fall ein spinales Angiom ventral im Spinalkanal, der entsprechende CT-Befund sprach für eine mediale Protrusion der Bandscheibe in entsprechender Segmenthöhe.

In einem zweiten Fall fand sich intraoperativ eine Zwillingswurzel S1 mit Wurzelzyste, im Computertomogramm war ein sequestrierter Bandscheibenvorfall L5/S1 links diagnostiziert worden.

Die übrigen sieben Zwischenwirbelräume, die einen atypischen Befund zeigten, waren nicht im Sinne eines Prolapses oder einer Protrusion verändert, das entsprechende Bandscheibenfach wurde hier nicht ausgeräumt.

3.3.2 Operationsbefunde bei Rezidivoperationen

27 Patienten unterzogen sich einer Rezidivoperation; ihr Anteil an allen operierten Patienten betrug ca. 21 %. Insgesamt wurden Rezidivoperationen in 29 Wirbelsäulenetagen durchgeführt.

Etagenverteilung der Rezidivoperationen:

1mal	L3/4
15mal	L4/5
8mal	L5/S1
2mal	L4/5 und L5/S1
1mal	L5/6 bei 6 Lendenwirbeln (Lumbalisation von S1)

Intraoperativ wurde in 14 Etagen ein echter Rezidivprolaps nachgewiesen. Bei 15 Segmenten bestanden narbige Verwachsungen im Spinalkanal, ohne daß erneut vorgefallenes Bandscheibengewebe identifiziert werden konnte. Infolge dieser narbigen Verwachsungen war es aber in einigen Fällen zu massiven Verklebungen oder Einmauerungen der Nervenwurzeln gekommen.

Tabelle 4: Lokalisation von Rezidivvorfall und postoperativen narbigen Veränderungen

	n	links	medial	rechts
echtes Rezidiv	14	7	2	5
Narben	15	6		9

3.4 Diagnostische Wertigkeit der Computertomographie

3.4.1 Vergleich: CT-Befund mit klinisch-neurologischem Befund

Nachfolgend werden computertomographischer Befund und neurologische Symptomatik der Patienten, die eine eindeutige radikuläre Symptomatik zeigten, mit den Operationsbefunden vergleichen.

In Abschnitt 1.2.3 wurden bereits die Probleme erwähnt, die bei der Zuordnung einer radikulären Symptomatik zu einem oder mehreren möglichen Bandscheibenfächern entstehen.

3.4.1.1 Erstmalige Operationen

Von den 104 Patienten, die erstmalig zur Operation kamen, hatten 78 eindeutige radikuläre neurologische Symptome; hier konnte der Versuch einer Lokalisierung mittels der neurologischen Symptomatik unternommen werden. In 26 Fällen lag eine uncharakteristische Symptomatik vor, die Bestimmung einer Segmenthöhe für einen fraglichen Bandscheibenvorfall war in diesen Fällen nicht möglich (siehe auch Tab. 1).

Ergebnisse

In 78 Fällen konnte die radikuläre Symptomatik mit dem Operationsbefund und dem computertomographischen Befund verglichen werden. Bei 60 Patienten entsprach die neurologische Symptomatik dem Operations- und CT-Befund; 9mal waren Neurologie, radiologischer Befund und Operationsbefund different, in weiteren 9 Fällen stimmten Neurologie und Operationsbefund bei abweichendem CT-Befund überein.

	n = 78	(≙ 100 %)
1) Neurologie entspricht CT und Operation	60	(77,0 %)
2) Neurologie different zu CT und Operation	9	(11,5 %)
3) Neurologie entspricht Operation, aber zu CT different	9	(11,5 %)

ad 2.
- 5mal stimmte die exakte Lokalisierung des pathologischen Befundes im betroffenen Zwischenwirbelraum nicht überein (medial gegenüber lateral)
- 2mal stimmte die neurologisch diagnostizierte LWS-Etage nicht mit dem tatsächlichen Operationsbefund überein, hier zeigte die CT präoperativ jeweils den richtigen Befund
- 2mal konnte intraoperativ ein Bandscheibenvorfall nicht verifiziert werden

ad 3.
- 5mal differierte die exakte Lokalisierung im betroffenen Zwischenwirbelraum (medial gegenüber lateral)
- 1mal ergab die CT eine falsche Seitenlokalisation (links anstatt rechts)
- 3mal konnte im CT kein pathologischer Befund erhoben werden

3.4.1.2 Rezidivoperationen

Von den 27 Patienten, die zur Rezidivoperation kamen, hatten 19 eine eindeutige radikuläre Symptomatik; bei 8 Patienten (29,8 %) konnten die Beschwerden keiner Spinalwurzel zugeordnet werden. Bei bestehender eindeutiger radikulärer Symptomatik läßt sich bei diesen Patienten aber nicht zwischen Beschwerden durch einen Rezidivprolaps oder spinale Narbenbildung unterscheiden. Ein Hinweis zur Ätiologie zeigt sich durch langsam einsetzende Beschwerden (Narbe) gegenüber akut einsetzender Symptomatik (Rezidiv; 46).

Ergebnisse

Von den 19 Patienten, die ausgewertet werden konnten, stimmten in 10 Fällen der neurologische Befund mit dem Operationsbefund und dem computertomographischen Befund überein; 6mal differierten Neurologie, CT und Operationsbefund, 3mal entsprach der neurologische Befund dem Operationsbefund bei abweichendem CT-Befund.

	n = 19	(= 100 %)
1) Neurologie entspricht CT und Operation	10	(52,6 %)
2) Neurologie different zu CT und Operation	6	(31,6 %)
3) Neurologie entspricht Operation, aber zu CT different	3	(15,8 %)

ad 2.
- 4mal stimmten diagnostizierte Segmenthöhe und tatsächlicher OP- und CT-Befund nicht überein
- 2mal differierte die exakte Lokalisation innerhalb des richtig bestimmten Zwischenwirbelraums (medialer gegenüber lateralem Befund)

ad 3.
- 1mal differierte die genaue Lokalisation des pathologischen Befundes (medial gegenüber lateral)
- 2mal konnte computertomographisch kein pathologischer Befund erhoben werden.

3.4.1.3 Zusammenfassung

Mit Hilfe einer differenzierten neurologischen Untersuchung können bandscheibenbedingte Erkrankungen zumindest auf zwei Bandscheibenfächer eingegrenzt werden. Bei bestehender radikulärer Symptomatik gab es bei Patienten, die erstmalig zur Operation kamen, in 88,5 % der Fälle eine Übereinstimmung zwischen OP- und neurologischem Befund. Bei Rezidivoperierten lag diese Übereinstimmungsrate allerdings nur bei 68,4 %. Einschränkend muß jedoch daran erinnert werden, daß bei 25 % der erstmalig operierten und bei 29,7 % der rezidivoperierten Patienten überhaupt keine klare neurologische Symptomatik vorlag. Berücksichtigt man alle Patienten in beiden Gruppen, so ergibt sich eine Übereinstimmung von Neurologie und Operationsbefund in nur 66,4 % bzw. 48,2 % der Fälle.

3.4.2 Vergleich: CT-Befund mit Operationsbefund

Im folgenden Abschnitt werden die Befunde nicht nach der Zahl der zur Auswertung zur Verfügung stehenden Patienten, sondern nach der Anzahl der auswertbaren Bandscheibenfächer eingeteilt.

Das folgende Beispiel soll die Aufteilung in "Etagen" bei der Auswertung verdeutlichen:

> Ein Patient wird in den Etagen L4/5 und L5/S1 operiert; bei L5/S1 wird ein lateraler Prolaps intraoperativ gesichert, die Bandscheibe L4/5 zeigt keine pathologischen Veränderungen. Im CT war dagegen in Höhe L4/5 ein Prolaps diagnostiziert worden, während L5/S1 einen völlig normalen Befund zeigte. Dieses Problem läßt sich in zwei Komponenten aufspalten, die gesondert zur Auswertung kommen:
> 1) L4/5: Hier lieferte die CT einen falsch-positiven Befund, und
> 2) L5/S1: Hier lieferte die CT einen falsch-negativen Befund.

Bei den erstmalig operierten Patienten konnten insgesamt 117 Bandscheibenetagen, bei den Rezidivoperationen 29 Etagen verglichen werden.

3.4.2.1 Erstmalige Operationen

Computertomographischer Befund und Operationsbefund wurden beurteilt nach dem Vorliegen eines pathologischen Befundes links, rechts oder medial im Spinalkanal. Die Kriterien für die Befunderhebung im Computertomogramm sind im Abschnitt 3.2 dargestellt.

Die Tabelle 5 soll die Aufteilung der einzelnen Befundkonstellationen verdeutlichen, wobei die Diagonale in der Tabelle von links oben nach rechts unten die Übereinstimmungen von CT- und OP-Befund ergibt.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

	n = 117	(≙ 100 %)
1) Übereinstimmung von CT und OP-Befund	88	(75,2 %)
2) Abweichende Lokalisation des path. Befundes im CT bei richtiger Etage	10	(8,5 %)
3) falsch-negativer CT-Befund	12	(10,3 %)
4) falsch-positiver CT-Befund	7	(6,0 %)

ad 2) - In 8 Fällen wurde hier im Computertomogramm ein medialer Vorfall diagnostiziert, die Operation ergab jedoch einen lateralen Befund. Dies scheint möglicherweise eine Folge der Einsicht des Operateurs von der Seite in den Spinalkanal zu sein, so daß ein medialer Befund subjektiv zur Seite des Zugangs zum Spinalkanal "lateralisiert" wird.

- In 2 Fällen bestand eine Rechts-Links-Differenz zwischen radiologischem und intraoperativem Befund (CT war einmal rechts- und einmal linksseitig falsch).

ad 3) - 12 Bandscheibenfächer, bei denen im CT kein pathologischer Befund erhoben werden konnte; die Operation erfolgte aufgrund eines pathologischen Myelogramms bzw. aufgrund einer eindeutigen klinischen Symptomatik.

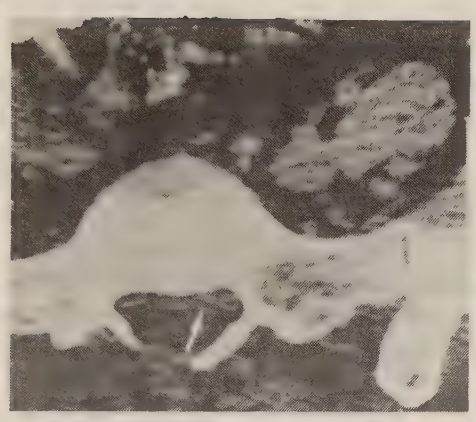


Abbildung 16: Computertomographisch Verdacht auf Bandscheibensequester im Recessus lateralis links (Pfeil); intraoperativ fand sich eine Zwillingswurzel mit Wurzelzyste im linksseitigen Recessus lateralis, es bestand kein Anhalt für einen Bandscheibenvorfall.

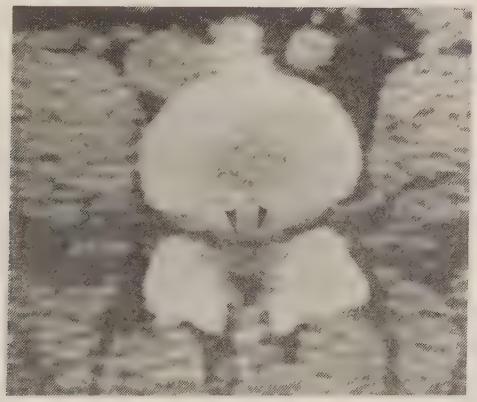


Abbildung 17: Computertomographisch Verdacht auf mediale Bandscheibenprotrusion L4/5 (Pfeile); intraoperativ zeigte sich ein spinales Angiom ventral im Spinalkanal; kein Hinweis auf einen Diskusvorfall.

ad 4) - 7mal konnte der positive CT-Befund intraoperativ nicht bestätigt werden, davon:

In 1 Fall fand sich anstelle eines diagnostizierten sequestrierten Prolapses eine Zwillingswurzel mit einer Wurzelzyste (Abb. 16);

1mal fand sich intraoperativ ein ventral im Spinalkanal gelegenes Angiom, das computertomographisch als mediale Protrusion diagnostiziert worden war (Abb. 17);

5mal konnten intraoperativ keine Veränderungen der Bandscheibe im Sinne eines Prolapses oder einer Protrusion gefunden werden, die betroffenen Bandscheibenfächer wurden nicht ausgeräumt.

Teilt man die unter 2) eingeordneten 8 Fälle, bei denen nur geringe Abweichungen der Seitenlokalisation bestehen, der Gruppe der Übereinstimmungen zu, so erhöht sich die Rate der richtig positiven Befunde auf 82,1 %. Reduziert man die Kriterien für eine Übereinstimmung weiter auf die Fragestellung, ob ein pathologischer Befund im Sinne eines Bandscheibenvorfalls in der fraglichen Höhe besteht, erhält man eine diagnostische Treffsicherheit von 83,7 %.

Bei insgesamt 108 positiven Operationsbefunden und 96 richtig positiven computertomographischen Befunden läßt sich eine Sensitivität von 88,9 % errechnen.

Tabelle 5: Vergleich von Operationsbefund und computertomographischem Befund bei erstmaliger Operation (n = 117).

			Operationsbefund			
			Diskusvorfall			
			links	rechts	medial	o.B.
		n	56	36	16	9
CT-Befund Diskusvorfall	links	48	44	1	-	3
	rechts	34	1	31	-	2
	medial	21	5	3	11	2
	o.B.	14	6	1	5	2

3.4.2.2 Rezidivoperationen

Bei der Auswertung der Rezidivoperierten wurde, abweichend zu den erstmalig operierten Etagen, nicht die genaue Lokalisation des pathologischen Befundes bewertet, sondern es war die Zuordnung des bestehenden Befundes zum einerseits vorliegenden "echten" Rezidiv bzw. andererseits zu postoperativem Narbengewebe von übergeordneter Bedeutung. Bei den hier ausgewerteten 29 Bandscheibenetagen fand sich keine Abweichung in der Seitenlokalisation zwischen CT und Operationsbefund; falsch-positive CT-Befunde ergaben sich ebenfalls nicht. Die Zuordnung der computertomographischen Befunde zu den Gruppen "Narben" bzw. "Rezidiv" kann sich äußerst schwierig gestalten (siehe auch 3.2 und 3.4.6).

Zusammenfassung der Ergebnisse:

In 14 Fällen ergab die Operation den Befund eines Rezidivvorfalls, davon wurden

11 Fälle im CT richtig erkannt	≙ 78,6 %
2 Fälle im CT als Narben fehlgedeutet	≙ 14,3 %
1 Fall als "o.B." befundet	≙ 7,1 %

In 15 Fällen zeigte sich als Operationsbefund postoperatives Narbengewebe, davon wurden

7 Fälle im CT richtig erkannt	≙ 46,7 %
7 Fälle im CT als Rezidiv fehlgedeutet	≙ 46,7 %
1 Fall als "o.B." befundet	≙ 6,6 %

Anmerkung: In einem Fall konnte computertomographisch die Diagnose einer Pseudomeningocele gestellt werden, die durch die Operation bestätigt wurde (51).

Insgesamt stimmten der Operationsbefund und das Computertomogramm in 18 Fällen überein, 9mal gab es Fehlbefunde in der Differentialdiagnose zwischen Rezidiv und Vernarbungen, 2mal war das Computertomogramm falsch-negativ.

	n = 29	≙ 100 %
1) Übereinstimmung	18	62,1 %
2) falsche Differentialdiagnose	9	31,0 %
3) falsch-negativer CT-Befund	2	6,9 %

Eine Zusammenfassung dieser Befunde ist der Tabelle 6, die Lokalisation der Operationsbefunde der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 6: Vergleich von Operationsbefund und computertomographischem Befund bei Rezidivoperationen (n = 29).

			Operationsbefund		
			Rezidiv	Narben	o.B.
		n	14	15	-
CT-Befund	Rezidiv	18	11	7	-
	Narben	9	2	7	-
	o.B.	2	1	1	-

3.4.3 Vergleich: Myelographiebefund mit Operationsbefund

Bei 89 Patienten wurde neben der Computertomographie als zusätzliche präoperative Diagnostik eine Metrizamid-Myelographie durchgeführt; 72 erstmalig operierte Patienten und 17 Rezidivoperationspatienten wurden myelographiert. Der Vergleich zwischen Myelographie und Operationsbefund erfolgte in Anlehnung an die Auswertung der computertomographischen Befunde (siehe 3.4.2).

3.4.3.1 Erstmalige Operationen

Bei 72 Patienten konnte der intraoperative Befund in 83 operierten Zwischenwirbelräumen mit dem präoperativen Myelographiebefund verglichen werden. Die Befundbeurteilung erfolgte wieder nach dem Vorliegen eines medialen, links- oder rechtsseitigen Bandscheibenvorfalls. Tabelle 7 zeigt die Einteilung in die verschiedenen Befundgruppen.

Tabelle 7: Vergleich von Operationsbefund und myelographischem Befund bei erstmaliger Operation (n = 83).

			Operationsbefund			
			Diskusvorfall			
			links	rechts	medial	o.B.
		n	40	24	12	7
Myelographiebefund Diskusvorfall	links	31	29	1	-	1
	rechts	18	1	16	1	-
	medial	18	3	2	10	3
	o.B.	16	7	5	1	3

Zusammenfassung der Ergebnisse:

	n = 83	(≙ 100 %)
1) Übereinstimmung von Myelographie- und Operationsbefund	58	(69,9 %)
2) Abweichende Lokalisation des path. Befundes im Myelogramm bei richtig erkannter Bandscheibenetage	8	(9,6 %)
3) falsch-negativer Myelographiebefund	13	(15,7 %)
4) falsch-positiver Myelographiebefund	4	(4,8 %)

ad 2) - 5mal wurde myelographisch ein medialer Befund diagnostiziert, die Operation ergab jedoch einen lateralen Befund.

- 1mal zeigte die Operation bei lateralem Myelographiebefund einen medialen Prolaps.

- 2mal bestand eine Rechts-Links-Differenz zwischen radiologischem und intraoperativem Befund.

ad 3) - 13mal konnte im Myelogramm kein pathologischer Befund erhoben werden, operiert wurde aufgrund eines eindeutig pathologischen CT-Befundes sowie einer eindeutigen klinischen Symptomatik; die Operation zeigte einen typischen Bandscheibenvorfall.

ad 4) - 4mal konnte ein pathologischer Myelographiebefund intraoperativ nicht bestätigt werden, davon fand sich in einem Fall anstelle des diagnostizierten medialen Vorfalls ein Angiom ventral im Spinalkanal (siehe auch Auswertung der CT-Befunde).

Wie bei der Auswertung der Computertomogramme läßt sich der Anteil der Übereinstimmungen erhöhen, wenn man die 6 Fälle mit geringen Abweichungen der Seitenlokalisation aus der Gruppe 2) zur Gruppe 1) hinzuzählt; es ergibt sich eine Übereinstimmungsrate von 77,1 %. Reduziert man die Kriterien für eine Übereinstimmung weiter auf die Fragestellung, ob ein pathologischer Befund im Sinne eines Bandscheibenvorfalls in der fraglichen Höhe besteht, erhält man eine diagnostische Treffsicherheit von 79,5 %.

Bei insgesamt 76 positiven Operationsbefunden und 63 richtig positiven myelographischen Befunden läßt sich eine Sensitivität von 82,9 % errechnen.

3.4.3.2 Rezidivoperationen

Bei 17 Patienten wurde neben der Computertomographie eine präoperative Myelographie durchgeführt; die Befundauswertung erfolgte wieder nach den Kriterien "Narben" bzw. Rezidiv".

Zusammenfassung der Ergebnisse:

In 10 Fällen ergab die Operation einen Rezidivprolaps, davon wurden

6 Fälle in der Myelographie richtig erkannt ≙ 60 %

4 Fälle als "o.B." befundet ≙ 40 %

Bei 7 Patienten wurde intraoperativ lediglich Narbengewebe gefunden, davon wurden

5 Fälle in der Myelographie richtig erkannt ≙ 71,4 %

1 Fall als Rezidivprolaps fehlgedeutet ≙ 14,3 %

1 Fall als "o.B." befundet ≙ 14,3 %

Insgesamt stimmten der Operationsbefund und der myelographische Befund in 11 Fällen überein, 1mal gab es einen Fehlbefund in der Differentialdiagnose zwischen Rezidiv und Vernarbungen, 5mal war das Myelogramm falsch-negativ.

	n = 17	≙ 100 %
1) Übereinstimmung	11	64,7 %
2) falsche Differentialdiagnose	1	5,9 %
3) falsch-negatives Myelogramm	5	29,4 %

Eine Zusammenfassung der Befunde ist Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Vergleich von Operationsbefund und myelographischem Befund bei Rezidivoperation (n = 17).

			Operationsbefund		
			Rezidiv	Narben	o.B.
		n	10	7	-
Myelographie-Befund	Rezidiv	7	6	1	-
	Narben	5	-	5	-
	o.B.	5	4	1	-

3.4.4 Vergleich von Computertomogramm, Myelogramm und Operationsbefund

Da bei 72 Patienten (erstmalig operiert, keine Rezidive) ein Computertomogramm und ein Myelogramm vor der Operation angefertigt wurden, kann bei insgesamt 83 operierten Bandscheibenetagen ein direkter Vergleich zwischen Computertomographie und Myelographie unternommen werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

	n = 83	(≙ 100 %)
1) CT, Myelogramm und Operation stimmen überein	45	(54,2 %)
2) CT und Myelogramm differieren		
a) CT und Operation stimmen überein	14	(16,9 %)
b) Myelogramm und Operation stimmen überein	13	(15,7 %)
3) CT, Myelogramm und Operation differieren	4	(4,8 %)
4) CT und Myelogramm stimmen überein, Operation aber different	7	(8,4 %)

Aus dieser Aufstellung ergeben sich wieder Werte für die Übereinstimmung von radiologischer Diagnostik und intraoperativem Befund:

Treffsicherheit der CT	(Gruppen 1) + 2a))	59	(71,1 %)
Treffsicherheit der Myelographie	(Gruppen 1) + 2b))	58	(69,9 %)

Da beide Untersuchungen am gleichen Patientenkollektiv unabhängig voneinander und ohne Kenntnis des jeweils anderen Befundes durchgeführt wurden, lassen sich die Raten für die Übereinstimmung mit dem Operationsbefund direkt miteinander vergleichen. Danach ist ein Unterschied in der diagnostischen Treffsicherheit beider radiologischer Verfahren beim hier untersuchten

Patientenkollektiv nicht festzustellen. Die diagnostische Gleichwertigkeit beider Methoden zeigt sich auch, wenn man die Fälle vergleicht, bei denen das jeweils andere Verfahren keinen pathologischen Befund ergab.

13mal war der CT-Befund "o.B.", und es lag gleichzeitig ein Myelographiebefund vor:

- 7mal war die Myelographie pathologisch und führte zur Verbesserung der präoperativen Diagnostik.
- 2mal bedeutete der Myelographiebefund eine Verschlechterung der Diagnostik.
- 1mal bestätigte die Myelographie den richtig-negativen CT-Befund.
- 3mal ergab die Myelographie den gleichen falsch-negativen Befund wie das CT.

16mal war der Myelographiebefund "o.B." bei gleichzeitig vorliegendem CT-Befund:

- 10mal war das CT pathologisch und führte zur Verbesserung der präoperativen Diagnostik.
- 2mal bedeutete der pathologische CT-Befund eine Verschlechterung der Diagnostik.
- 1mal bestätigte der CT-Befund den richtig-negativen Myelographiebefund.
- 3mal ergab die CT den gleichen falsch-negativen Befund wie die Myelographie.

Auf einen entsprechenden Vergleich bei Rezidivoperationen wurde aufgrund der zu geringen Fallzahl verzichtet.

3.4.5 CT-Befunde bei degenerativen Veränderungen der Lendenwirbelsäule

3.4.5.1 Problemstellung

Bei der Durchsicht der Befunde des unter 2.4 beschriebenen Patientenguts, das unter dem Verdacht auf einen Bandscheibenvorfall computertomographisch untersucht wurde, fanden sich in einem recht großen Anteil der Fälle über das Altersmaß hinausgehende degenerative Skelettveränderungen. Vor allem bei Personen fortgeschrittenen Lebensalters stellen sich, wegen der in dieser Gruppe häufiger bestehenden degenerativen Skelettveränderungen (11,46), bisweilen diagnostische Probleme. Im osteochondrotisch bzw. spondylarthrotisch degenerierten Intervertebralsegment kann sich die Erfassung dorsaler Bandscheibenverlagerungen sehr schwierig gestalten.

3.4.5.2 Ergebnisse

Insgesamt 34 dorsale Abschlußplattenausziehungen unterschiedlichen Ausmaßes wurden bei 28 (8,5 %) der 329 untersuchten Patienten angetroffen; 6 waren im Segment L3/4, 10 im Segment L4/5 und 18 von ihnen im Zwischenwirbelspalt L5/S1 lokalisiert. Die dorsalen Ausziehungen ließen in 27 Fällen eine mediale, in 2 Fällen eine mediolaterale und in 5 Fällen eine laterale (den Recessus lateralis einengende) Position erkennen.

26 (70,2 %) der dorsalen Knochensporne gingen mit einem begleitenden Diskusvorfall einher (Abb. 18). 8 dorsale Kantensporne ließen keinen Begleitvorfall erkennen, der jedoch in 5 dieser 8 Fälle aufgrund der zum Teil hochgradigen osteochondrotischen Einengung bzw. Verlegung des hinteren Zwischenwirbelbereichs kaum noch möglich gewesen wäre.

Bei 4 (1,2 %) Patienten wurde das Wurzelsyndrom durch fortgeschrittene degenerative Veränderungen der Wirbelgelenke unterhalten. Hierbei verlegten die spondylarthrotischen Anbauten den homolateralen Recessus lateralis und komprimierten die in ihm befindliche Nervenwurzel (Abb. 19).

Abbildung 18: Sekundäre, sagittale Rekonstruktion der Bandscheibenfächer L4/5 und L5/S1; dorsaler Kantensporn von LWK 5 mit begleitendem Vorfall L4/5 (Pfeil).

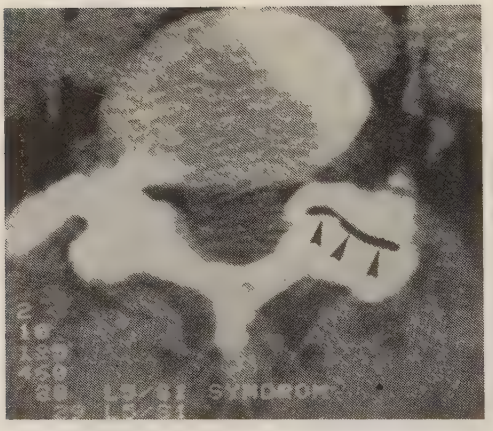
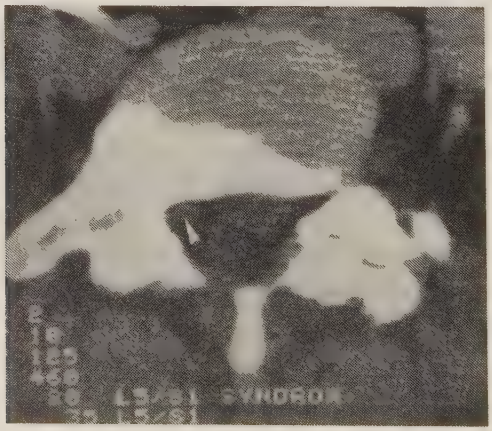


Abbildung 19:

a) Einengung des linksseitigen Recessus lateralis mit Wurzelkompression infolge Spondylarthrose; Vakuumphänomen im Wirbelgelenkspalt (Pfeile).



b) In einer darunterliegenden Schicht Darstellung der kontralateralen Nervenwurzel (Pfeil) im normal weiten Recessus lateralis.

3.4.6 Computertomographie des operierten Intervertebralsegments

3.4.6.1 Problemstellung

Etwa 5 bis 10 % der Patienten, die sich einer Bandscheibenoperation unterziehen, sind auch nach dem chirurgischen Eingriff nicht beschwerdefrei (siehe auch Abschnitt 1.2.5). 60 der 329 Patienten (18,2 %), die zur computertomographischen Untersuchung der Lendenwirbelsäule kamen, waren bereits in mindestens einem Intervertebralsegment voroperiert.

Differentialdiagnostisch muß in diesen Fällen zwischen einem tatsächlich bestehenden Bandscheibenrezidivvorfall und einem durch postoperatives Narbengewebe simulierten Rezidiv unterschieden werden. Nicht selten bestehen postoperativ ausgedehnte epidurale Fibrosierungen, die sich vom Laminektomiebereich unter lateraler Einscheidung des Duralsacks bis zur Diskusloge erstrecken. Zur Verbesserung der deutlich reduzierten Treffsicherheit der postoperativen CT (siehe 3.4.2.2) wurde durch intravenöse Kontrastmittelapplikation versucht, eine Differenzierung zwischen Rezidivprolaps und Narbengewebe zu erreichen (71,90).

In Ergänzung zum unter 2.4 beschriebenen Patientengut wurde bei 35 Patienten, die unter dem Verdacht eines Rezidivvorfalls zur computertomographischen Untersuchung kamen, eine CT mit intravenöser Kontrastmittelapplikation durchgeführt.

3.4.6.2 Methode

Die Untersuchung erfolgte unter den gleichen Bedingungen wie sie unter 2.2 bzw. 2.3 beschrieben sind. Im Anschluß an die Nativuntersuchung wurde bei allen 35 Patienten das voroperierte Zwischenwirbelsegment ein zweites Mal untersucht. Hierzu wurde ein Abbocath-T-16G-Katheter in die Vena cubitalis eingebracht. In Form einer Kurzinfusion wurde im raschen Fluß ein nierengängiges Kontrastmittel (Angiografin®) angeboten (Dosis: 1,5 - 2 ml/kg Körpergewicht). Die unter diesen Bedingungen erreichbare Flußrate lag bei 0,35 ml/s.

Im Nativscan sowie in identischen Schichtebenen der Kontrastmittelstudie wurde das Absorptionsverhalten folgender anatomischer Strukturen geprüft:

- der Aorta bzw. ihrer iliakalen Aufzweigungen
- der Narben im Bereich des Fensterungsdefekts im entsprechenden Wirbelbogen
- der Bandscheibe
- der Psoasmuskulatur

Die Meßpunkte der genannten Strukturen waren im Nativ- bzw. Kontrastmittelscan ortsidentisch; ihre Dichtedifferenz bezeichnete in Form des ΔHE-Werts den Grad der erzielten Kontratanhebung.

Der zeitliche Abstand zwischen lumbalen Eingriff und Durchführung der erneuten CT-Untersuchung streute in einem Bereich von 4 Wochen bis zu 38 Monaten.

3.4.6.3 Ergebnisse

Unter den obengenannten Bedingungen wurden in 83 % der untersuchten Fälle diagnostisch nutzbare Narbenkontrastierungen erzielt, wobei ein Kontrastsprung von 10 HE den unteren Schwellenwert gerade noch visuell wahrnehmbarer Dichteerhöhung markiert.

Für die ausgewählten anatomischen Strukturen ergaben sich die folgenden gemessenen mittleren Dichteanstiege:

		($\bar{x}$ ± SD)
-	Aorta bzw. Iliakalarterien	39,9 ± 21,1 HE
-	Narbengewebe	24,2 ± 14,2 HE
-	Psoasmuskulatur	9,3 ± 6,7 HE
-	Bandscheibengewebe	0,9 ± 4,1 HE

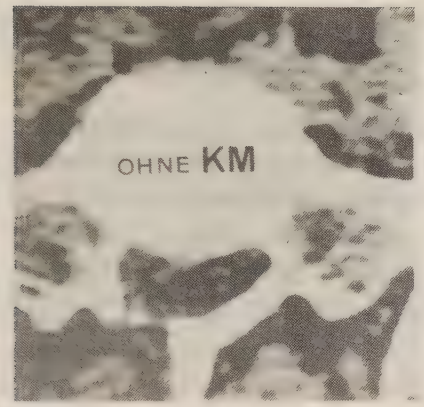
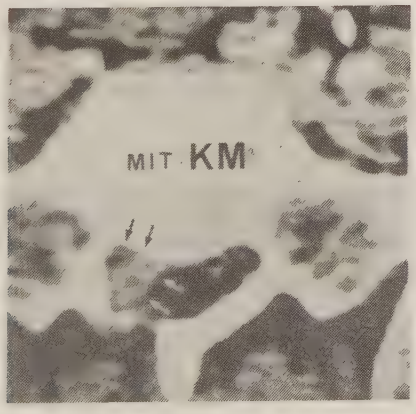


Abbildung 20:

a) Postoperative Narbenbildung im Spinalkanal in Höhe L5/S1.



b) Erst nach Kontrastmittelgabe wird die Narbenstruktur im Bereich des rechten Recessus lateralis erkennbar (Pfeile).

Während sich im Bereich des Diskusgewebes keine Dichtesteigerung nachweisen ließ, zeigten die narbigen Strukturen eine deutliche Kontrastanhebung, die jene der Psoasmuskulatur übertraf (Abb. 20).

Die im Einzelfall relativ stark streuende Kontrastanhebung des lumbalen Narbengewebes wurde in zeitliche Beziehung zum Operationstermin gesetzt (Abb. 21). Mit zunehmendem Zeitintervall zwischen CT-Untersuchung und OP-Termin wurde ein Trend zu relativ geringerer Kontrastanhebung erkennbar. Die durch den relativ niedrigen Korrelationskoeffizienten (r = 0,3012) beschriebene Wechselbeziehung beider Parameter kann als eher locker gelten.

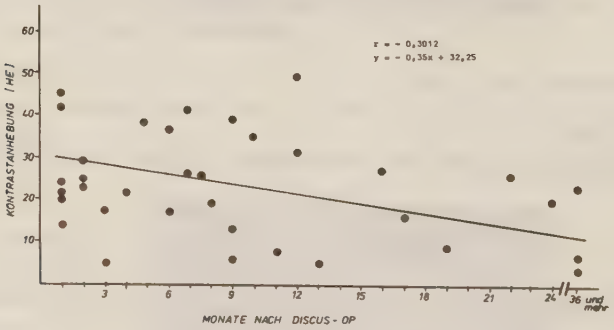


Abbildung 21: Beziehung zwischen Kontrastanhebung narbiger Strukturen und zeitlichem Intervall der lumbalen CT zum Operationstermin; ältere Narben zeigen einen Trend zu relativ geringerer Kontrastmittelanreicherung.

3.4.6.4 Konklusionen

1. Gelingt im Nativbild die Differenzierung zwischen Diskusvorfall und Narbengewebe anhand morphologischer und topographischer Kriterien nicht, sollte die Indikation zur kontrastmittelunterstützten CT gestellt werden.

2. Notwendig zur Untersuchung ist ein ausreichendes Kontrastmittelvolumen sowie eine genügend hohe Flußrate (siehe oben).

3. Im eigenen Krankengut konnte im 83 % der Fälle ein diagnostisch verwertbarer Dichteanstieg narbiger Strukturen erreicht werden, die auf diese Weise vom nichtanreichernden Bandscheibengewebe differenzierbar wurden.

4. Zwar zeigen ältere Narben einen Trend zu relativ geringerer Kontrastanreicherung, jedoch rechtfertigt der im Einzelfall stark streuende Grad der Dichteanhebung narbiger Strukturen die Durchführung der kontrastmittelunterstützten CT auch bei Patienten, deren Operationstermin längere Zeit zurückliegt.

4 DISKUSSION

4.1 Allgemeines

Mit Einführung der Ganzkörpercomputertomographie in die moderne Radiologie hat sich diese Methode schnell in der Diagnostik spinaler Erkrankungen durchgesetzt. Besonders in der Diagnostik der häufigen lumbalen Bandscheibenvorfälle wird die bisher zur Klärung dieser Fragestellung unumgängliche Myelographie durch die Computertomographie in den Hintergrund gedrängt. Beschleunigt wurde diese Entwicklung durch den Einsatz hochauflösender Computertomographen, mit deren Hilfe selbst kleine pathologische Veränderungen sichtbar werden.

4.2 Beurteilung der Treffsicherheit der Computertomographie bei der präoperativen Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls

Nach den ersten Berichten über die spinale, lumbale Computertomographie, die zunächst die Anatomie und ihre pathologischen Veränderungen im Bereich der Lendenwirbelsäule demonstrierten (13,18,31,33), liegen die ersten Vergleiche der computertomographischen Befunde mit Operationsergebnissen vor. Die Angaben über die diagnostische Treffsicherheit der Computertomographie bei der Beurteilung der nicht voroperierten Lendenwirbelsäule liegen zwischen 85 und 99 % (9,22,23,26,48,64; Tab. 9). Hier ist zu berücksichtigen, daß auch die Größe der überprüften Patientenkollektive Unterschiede zeigt (zwischen 94 und 227 Patienten).

Die in Abschnitt 3 dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse liefern einen Wert für die operativ kontrollierte diagnostische Treffsicherheit der Computertomographie beim Nachweis eines Bandscheibenvorfalls an der nicht-operierten Lendenwirbelsäule von 82,1 %. Dieser Wert liegt damit in der Größenordnung der von anderen Autoren bereits beschriebenen Treffsicherheit. Unterschiedliche Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen (82,1 %, eigene Untersuchungen; 98,8 %, Hackenbroch et al.) müssen offenbar auf unterschiedliche Kriterien bei der Auswertung der Befunde bzw. auf das spezifische Krankengut zurückgeführt werden.

Tabelle 9: Diagnostische Treffsicherheit der Computertomographie vor lumbalen Bandscheibenoperationen; n = Anzahl der Untersuchungen.

Autor		Computertomographie richtige Diagnosen	n	Myelographie richtige Diagnosen	n
Bingas, 1982	(9)	85,93 %	128	87,5 %	128
Reuter, 1982	(64)	85,3 %	170		
Fries, 1982	(23)	90,75 %	227	87,5 %	192
Lackner, 1983	(48)	89,17 %	120		
Hackenbroch, 1983	(26)	98,8 %	94	90,5 %	84
Firooznia, 1984	(22)	89,66 %	116		
eigene Ergebnisse		82,1 %	117	77,1 %	83

Insgesamt liegt die Treffsicherheit der Computertomographie aber in dem Bereich, der auch für die Myelographie mit 80 bis 90 % angegeben wird (9,23, 26, 72). Im eigenen Krankengut konnte präoperativ in 77,1 % der Fälle myelographisch die richtige Diagnose gestellt werden.

Die Beurteilung der computertomographischen Diagnostik an der bereits operierten Lendenwirbelsäule ist äußerst different. Die Angaben über die Treffsicherheit liegen hier zwischen 32 % (64) und 96,4 % (26); die eigenen Untersuchungen ergaben hier einen Wert von 62,1 %. Große Uneinigkeit besteht hier in der Frage, ob postoperatives Narbengewebe im Nativscan von einem Prolapsrezidiv unterschieden werden kann. So konnte bei den eigenen Untersuchungen eine derartige Differenzierung allein aufgrund morphologischer Kriterien nicht regelmäßig erreicht werden, während andere Autoren (27) keine Schwierigkeiten bei der Unterscheidung zwischen Narbe und Prolaps sahen.

Wie die Computertomographie ist auch die postoperative Myelographie mit einer größeren Fehlerquote behaftet (49). Die eigenen Untersuchungen erbrachten für die postoperative Myelographie eine Trefferquote von 64,7 %.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß sich für die diagnostische Treffsicherheit beider radiologischer Verfahren Werte in der gleichen Größenordnung ergeben. Dies gilt mit 82,1 % für die Computertomographie und 77,1 % für die Myelographie am nicht voroperierten Situs ebensowie wie mit 62,1 % (Computertomographie) und 64,7 % (Myelographie) für die Rezidivdiagnostik. Beide neuroradiologischen Methoden sind somit als diagnostisch gleichwertig bei der Abklärung lumbaler Bandscheibenvorfälle anzusehen.

4.3 Vorteile der Computertomographie in der lumbalen Bandscheibendiagnostik

Die größten Unterschiede zwischen der Computertomographie und der Myelographie liegen in der fehlenden Invasivität und der ambulanten Durchführbarkeit zugunsten der Computertomographie. Bei fehlender Kontrastmittelapplikation entfallen pharmakonbedingte und durch die Lumbalpunktion bedingte Nebenwirkungen und Risiken, wie sie in Abschnitt 1.3.2.4 aufgeführt wurden. Nur wenn es bei der Computertomographie des bereits operierten Lumbalsegments zu Interpretationsschwierigkeiten kommt, kann eine intravenöse Applikation eines nierengängigen Kontrastmittels notwendig werden. Diese ist dann aber nicht mit den gleichen Risiken und Nebenerscheinungen wie eine intrathekale Kontrastmittelinstillation behaftet.

Die Einfachheit der computertomographischen Untersuchung erlaubt deren ambulante Durchführung. Eine stationäre Aufnahme des Patienten von mindestens 24 Stunden, wie sie zur Myelographie allgemein üblich ist, entfällt.

Die Indikation zur spinalen Computertomographie kann daher sicher weiter gestellt werden als bei der Myelographie. Hier muß jedoch auch davor gewarnt werden, daß sich die Methode zu einer Art "Prolaps-Screening-Untersuchung" entwickelt; eine sorgfältige neurologisch-klinische Untersuchung sollte weiterhin der Überweisung zum Radiologen vorangestellt bleiben. Für den neurochirurgischen Operateur bietet die Computertomographie den Vorteil, daß das pathologisch veränderte Diskusgewebe direkt dargestellt wird. In den

transversalen Schnitten ist eine exakte Lokalisierung der vorgefallenen und/ oder sequestrierten Bandscheibenanteile möglich, was Einfluß auf die Wahl des operativen Zugangs haben kann.

Die Strahlenbelastung bei der Myelographie wird mit einer durchschnittlichen Hautdosis von 10 - 15 rd (0,1 - 0,15 Gy) angegeben (29,60). Dabei sind Aufnahmen im a.p. und seitlichen Strahlengang und Schrägaufnahmen sowie eine Durchleuchtungszeit von etwa 60 s berücksichtigt.

Nach Hall (28) liegt die Gonadendosis bei Frauen zwischen 238 mrd (2,38 mGy) und 715 mrd (7,15 mGy). Die Gonadenbelastung männlicher Patienten wird von Hammer (30) mit 54 - 79 mrd (0,54 - 0,79 mGy) angegeben.

Bei der Computertomographie liegt die Hautdosis pro Einzelschicht bei 2,3 rd (0,023 Gy; 15). Bei lückenloser Schichtung erhöht sich dieser Wert auf 4 - 6 rd (0,04 - 0,06 Gy) im bestrahlten Hautbereich (15,22,67,89). Die Gonadendosis einer computertomographischen Untersuchung der LWS wird von Stoeter (83) mit etwa 400 - 600 mrd (2 - 4 mGy) pro Schicht angegeben, wobei eine strenge Abhängigkeit der Dosis von der Entfernung der Schicht von den Gonaden besteht (83,89). Die angegebenen Dosiswerte gelten für CT-Untersuchungen, die unter den in Abschnitt 2.2 beschriebenen Bedingungen angefertigt wurden. Auch wenn die Computertomographie mit einer etwas geringeren Strahlenbelastung verbunden zu sein scheint (60), muß sie bei beiden neuroradiologischen Methoden etwa in der gleichen Größenordnung angesetzt werden (22), da systematische Vergleiche derzeit noch nicht vorliegen.

4.4 Diagnostische Probleme der Computertomographie in der lumbalen Bandscheibendiagnostik

Bei der lumbalen Computertomographie können sich auch eine Reihe von Schwierigkeiten ergeben. Zunächst ist darauf zu achten, daß die Untersuchung das richtige Bandscheibenfach betrifft. Daher ist die Anfertigung eines digitalen Übersichtsradiogramms, meist im seitlichen Strahlengang, notwendige

Voraussetzung zur Durchführung der axialen Scans. Dabei ist auf Übergangsvariationen im thorakolumbalen und lumbosakralen Bereich der Wirbelsäule zu achten. Ein Übersehen von Lumbalisation oder Sakralisation einzelner Wirbelkörper führt schnell zu diagnostischen Fehlschlüssen in den fälschlicherweise untersuchten Bandscheibenetagen.

Nach den eigenen Erfahrungen hat die schichtweise Untersuchung der Intervertebralräume parallel zu den Wirbelkörperabschlußplatten zu geschehen, um Anschnittphänomene zu vermeiden, die einen pathologischen Befund vortäuschen bzw. unerkannt lassen können. Die Untersuchung darf sich nicht nur streng auf den Zwischenwirbelraum beschränken, sondern es sollten auch einige Schichten kranial und kaudal davon gelegt werden, um sequestriertes Bandscheibengewebe zu identifizieren oder um Anomalien, wie zum Beispiel die Spaltbildung bei einer gleichzeitig bestehenden Spondylolisthesis darzustellen.

Kann bei eindeutiger klinischer Symptomatik in einem Bandscheibenfach kein Prolaps nachgewiesen werden, sollten auch die benachbarten Zwischenwirbelräume mituntersucht werden. Da über 95 % der lumbalen Diskusvorfälle in den Etagen L4/5 und L5/S1 lokalisiert sind, kann grundsätzlich die Untersuchung dieser beiden Intervertebralsegmente empfohlen werden. Als Vorteil der Myelographie gegenüber der Computertomographie ist der Überblick über einen größeren Wirbelsäulenabschnitt anzusehen.

Das klinische Erscheinungsbild einer radikulären Symptomatik läßt einen verbindlichen Rückschluß auf die zugrundeliegende morphologische Veränderung nicht zu. Ein derartiger neurologischer Befund kann durch dorsalwärts herniertes Bandscheibengewebe, degenerative, traumatische oder angeborene Skelettveränderungen, tumoröse Prozesse oder postoperative Komplikationen verursacht sein. Während sich mittels konventioneller Röntgentechniken der Schweregrad degenerativer Skelettveränderungen bestimmen läßt, fällt der Computertomographie die Aufgabe zu, deren Verantwortlichkeit für das klinische Bild aufzuzeigen. Es gilt zu prüfen, ob und in welchem Maße die lumbalen

Nervenwurzeln bzw. der Duralsack durch dystopes Bandscheibengewebe und/ oder osteohypertrophische Veränderungen bedrängt werden. Insbesondere der bandscheibenbedingte Anteil am Beschwerdebild ist von großer Wichtigkeit, da sich hier im positiven Fall operative Konsequenzen anbieten. Eine diesbezügliche diagnostische Aussage kann sich computertomographisch schwierig gestalten, wenn das zu untersuchende Lumbalsegment durch knochendegenerative Umbauten verändert ist. Die oftmals dem dorsalwärts gerichteten Knochensporn unmittelbar anliegende Bandscheibe ist computertomographisch schwer identifizierbar, da bei ungünstiger Meßgeometrie hier der Einfluß des Teilvolumeneffekts bzw. die im Grenzflächenbereich von Geweben hoher Dichteunterschiede auftretende bildverfälschenden Phänomene überwiegen (65,73,74, 75). Mitunter ermöglicht die nachträgliche longitudinale, sagittale Rekonstruktion der transversalen Einzelschichten die Befundsicherung.

Die schon vor längerer Zeit geäußerte Vermutung (45), daß ein gering ausgeprägter dorsaler Randkantensteophyt (sciatica hook) mit einem vergleichsweise größeren begleitenden Diskusvorfall einhergeht, erfährt durch die CT ihre Bestätigung. Eine verwertbare Korrelation zwischen Sporngröße und Ausmaß der Bandscheibenherniation ließ sich im hier untersuchten Patientengut allerdings nicht herstellen.

Der postoperative Lumbalsitus bereitet bei der Auswertung eines Computertomogramms, und auch eines Myelogramms, die größten Schwierigkeiten. Während bei der Myelographie der Nachweis eines rezidivierenden Prolapses durch narbige Verziehungen des Duralsacks erschwert wird (73), geligt es computertomographisch oft nicht, zwischen Narbengewebe und Rezidivvorfall zu differenzieren. Die Möglichkeit der Verbesserung der Differentialdiagnose wurde im Rahmen dieser Arbeit an einem gesonderten Patientenkollektiv überprüft. Dabei zeigte sich in etwa 80 % der Fälle ein Kontrastmittel-Enhancement des postoperativen Narbengewebes, während das Diskusgewebe kein Kontrastmittel aufnahm. Die Treffsicherheit der Computertomographie am postoperativen Lumbalsitus kann nach den eigenen Erfahrungen dadurch deutlich verbessert werden. Auch Pfadenhauer et al. (62) fanden eine erhöhte Treffsicherheit der

postoperativen Computertomographie nach intravenöser Kontrastmittelgabe. Andere Arbeitsgruppen berichten über eine eindeutige Differenzierung zwischen narbiger und diskogener Wurzelkompression (27) im Nativscan, bzw. sehen keinen Vorteil bei der intravenösen Kontrastmittelapplikation (22). Die Klärung dieser gegensätzlichen Ergebnisse durch Auswertung größerer Patientenkollektive steht zum derzeitigen Zeitpunkt noch aus.

Mit Ausnahme der Untersuchungen nach Nukleotomie kommt es fast nie zu differentialdiagnostischen Schwierigkeiten. Seit Einführung der Computertomographie in die Bandscheibendiagnostik zeigte sich jedoch, daß sich bei einer Reihe von Patienten, die unter Prolapsverdacht computertomographisch untersucht wurden, eine andere Ursache für vorliegende Rückenschmerzen oder lumboischialgiforme Beschwerden fand. Paravertebrale Prozesse, wie Tumoren, Lymphome oder Abszesse, dürfen ebensowenig übersehen werden wie ossäre Veränderungen entzündlicher oder neoplastischer Genese (91).

Auf Schwierigkeiten und Irrtumsmöglichkeiten der lumbalen Computertomographie durch einen falschen Untersuchungsablauf wurde in Abschnitt 2.3.2 bereits hingewiesen. Die richtige Wahl der Schichtdicke, der Schichtanzahl und der Fensterlage und Fensterbreite bei der Bildbetrachtung ist ebenso wichtig wie die Kenntnis gerätetypischer Artefakte und physikalisch bedingter Verfälschungsphänomene.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Die Computertomographie ist eine geeignete Methode zur Anfertigung überlagerungsfreier Querschnitte im Bereich der Lendenwirbelsäule zur direkten Darstellung der anatomischen Strukturen (Diskus, Knochen, Duralsack, Nervenwurzeln).

- Mit Hilfe der Computertomographie läßt sich in den Spinalkanal prolabiertes Bandscheibengewebe mit einer hohen Treffsicherheit (80 - 90 %) und mit exakter Lokalisation nachweisen.

- Degenerative, knöcherne Veränderungen der Wirbelkörper und -bögen können durch geeignete Fensterwahl ebenso leicht identifiziert werden.

- Diagnostische Schwierigkeiten, die bei der computertomographischen Untersuchung des operierten Lumbalsitus entstehen, können durch eine intravenöse Kontrastmittelinfusion verringert werden.

- Die Computertomographie hat die aufgrund der Lumbalpunktion und der intrathekalen Kontrastmittelapplikation risikoreiche und aufwendige Myelographie in der Bandscheibendiagnostik weitgehend abgelöst und gilt heute als Methode der Wahl zum Nachweis oder Ausschluß eines lumbalen Bandscheibenvorfalls.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Alfidi, R.J., W.J. MacIntyre, T.F. Meany, E.S. Chernak, P. Janicki, R. Tarar, H. Levin:
Experimental studies to determine application of CAT scanning to the human body.
Am. J. Roentgenol. 124: 199, 1975

2. Alfidi, R.J., J. Haaga, T.F. Meany, W.J. MacIntyre, I. Gonzales, R. Tarar, M.G. Zelch, M. Boller, S.A. Cook, G. Jelden:
Computed tomography of the thorax and abdomen; a preliminary report.
Radiology 117: 257, 1975

3. Ambrose, J.:
Computerized transverse axial scanning (tomography).
Part II: Clinical application.
Brit. J. Radiol. 46: 1023, 1973

4. Arii, H., M. Takahashi, Y. Tamakawa, M. Suzuki, M. Shindo:
Metrizamide spinal computed tomography following myelography.
Computerized Tomography 4: 117, 1980

5. Arnell, S., F. Lindström:
Myelography with Skiodan (Abrodil).
Acta radiol. 12: 287, 1931

6. Bartsch, H., M. Weigert:
Unsere Erfahrungen bei der Rezidivoperation nach Nucleotomie.
In: D. Schöllner (Hrsg.): Rezidive nach lumbalen Bandscheibenoperationen.
Medizinisch-literarische Verlagsgesellschaft, Uelzen, 1980

7. Baumgartner, G.:
Sensorische und motorische Störungen.
In: R. Hegglin (Hrsg.): Differentialdiagnose Innerer Krankheiten.
Thieme, Stuttgart, 1975

8. Benninghoff, A., K. Goerttler:
Lehrbuch der Anatomie des Menschen.
Band I: Bewegungsapparat (hrsg. von J. Staubesand).
Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1978

9. Bingas, B., J. Peters, F. Golestan:
Die Bedeutung der Computertomographie in der Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls.
Dtsch. Ärztebl. 79, 46: 29, 1982

10. Braband, H., H.D. Lessmann, H. Wenker:
Experimentelle Untersuchungen über die Elimination und Neurotoxizität eines neuen wasserlöslichen Kontrastmittels zur lumbosakralen Myelographie.
Radiologe 12: 66, 1972

11. Brocher, J.E.W.:
Die Wirbelsäulenleiden und ihre Differentialdiagnose.
Thieme, Stuttgart, 1970

12. Brussatis, F., D. Steeger:
Myelographie des lumbalen Bandscheibenvorfalls.
Z. Orthop. 112: 807, 1974

13. Carrera, G.F., V.M. Haughton, A. Syvertsen, A.L. Williams:
Computed tomography of the lumbar facet joints.
Radiology 134: 145, 1980

14. Claussen, C., F. Lohkamp, U. Banniza v. Bazan:
The diagnosis of congenital spinal disorders in computed tomography (CT).
Neuropaediatrie 8: 405, 1977

15. Claussen, C., T. Grumme, J. Treisch, B. Lochner, E. Kazner:
Die Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls.
Fortschr. Röntgenstr. 136: 1, 1982

16. Dandy, W.E.:
Roentgenography of the brain after the injection of air into the spinal calan.
Ann. Surg. 70: 397, 1919

17. DiChiro, G., S.P. Axelbaum, S. Schellinger, H.L. Twiggs, R.S. Ledley:
Computerized axial tomography in syringomyelia.
N. Engl. J. Med. 292: 13, 1975

18. DiChiro, G., D. Schellinger:
Computed tomography of spinal cord after lumbar intrathecal introduction of metrizamide (computer assisted myelography).
Radiology 120: 101, 1976

19. Duus, P.:
Neurologisch-topische Diagnostik.
Thieme, Stuttgart, 1980

20. Eder, M., P. Gedigk:
Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie.
Springer, Berlin, 1977

21. Erlacher, P.R.:
Direkte Kontrastdarstellung des Nucleus pulposus, zugleich ein Beitrag zur Pathologie der Bandscheibe.
Z. Orthop. 80: 40, 1951

22. Firooznia, H., V. Benjamin, I.I. Kricheff, M. Rafii, C. Golimbu:
CT of lumbar spine disk herniation: Correlation with surgical findings.
AJNR 5: 91, 1984

23. Fries, J.W., D.A. Abodeely, J.G. Vijungco, V.L. Yaeger, W.R. Gaffey:
Computed tomography of herniated and extruded nucleus pulposus.
J. Comp. Ass. Tomogr. 6: 874, 1982

24. Görge, H.H., G. Curio, M. Brock:
Chemonukleolyse als Anternative zur offenen chirurgischen Behandlung des lumbalen Bandscheibenvorfalls.
Dtsch. Med. Wschr. 109: 68, 1984

25. Gottesleben, A., G. Selle:
Die lumbosakrale Radiculographie mit Dimer X.
Nervenarzt 43: 646, 1972

26. Hackenbroch, M.H., B. Waldecker, K.H. Prömper:
Der lumbale Bandscheibenvorfall - Korrelation computertomographischer und myelographischer Befunde mit Operationsbefunden.
Röntgen-Bl. 36: 50, 1983

27. Hackenbroch, M.H., G. Friedmann, K.H. Prömper, B. Waldecker:
Operativ gesicherte CT-Befunde nach vorausgegangener lumbaler Discotomie.
Röntgen-Bl. 36: 188, 1983

28. Hall, F.M.:
Overutilization of radiological examinations.
Radiology 120: 443, 1976

29. Hall, F.M.:
Back pain and the radiologist.
Radiology 137: 861, 1980

30. Hammer, B.:
Die Strahlenbelastung bei der lumbosakralen Radikulographie.
Wien. Med. Wschr. 125: 400, 1975

31. Hammerschlag, S.B., S.M. Wolpert, B.L. Carter:
Computed tomography of the spinal canal.
Radiology 121: 361, 1976

32. Hauberg, G.:
Die Osteochondrose der Lendenwirbelsäule und ihre allgemeinen klinischen Erscheinungen.
In: E. Trostdorf und H.S Stender (Hrsg.): Wirbelsäule und Nervensystem.
Thieme, Stuttgart, 1970

33. Haughton, V.M., A.L. Williams:
CT anatomy of the spine.
In: J.M. Caille and G. Salamon (eds.): Computerized tomography.
Springer, Berlin, 1980

34. Haughton, V.M., O.P. Eldevik, B. Magnaes, P. Amundson:
A prospective comparison of computed tomography and myelography in the diagnosis of herniated lumbar discs.
Radiology 142: 103, 1982

35. Hindmarsh, T.:
Methiodal sodium and metrizamide in lumbar myelography.
Acta radiol. (Stockh.) Suppl. 335: 359, 1973

36. Hirschy, J.C., W.M. Leue, W.H. Berninger, R.H. Hamilton, G.F. Abbott:
CT of the lumbosacral spine: Importance of tomographic planes parallel to vertebral end late.
Am. J. Radiol. 126: 47, 1981

37. Hounsfield, G.N.:
Computerized transverse axial scanning (tomography).
Part I: Description of system.
Brit. J. Radiol. 46: 1016, 1973

38. Hübener, K.H.:
Computertomographie des Körperstammes.
Thieme, Stuttgart, 1981

39. Idelberger, K.:
Lehrbuch der Orthopädie.
Springer, Berlin, 1978

40. Irstam, L., U. Sellden:
Adverse effects of lumbar myelography with Amipaque and Dimer-X.
Acta Radiol. Diagn. 17: 145, 1976

41. Junges, R., H. Zwicker:
Ergebnisse der computertomographischen Diagnostik an der lumbalen Bandscheibe.
Dtsch. Med. Wschr. 106: 674, 1981

42. Junges, R., H. Zwicker:
Die Wertigkeit der CT-Untersuchung bei Bandscheibenvorfällen.
Fortschr. Röntgenstr. 136: 166, 1982

43. Keyl, W., W. Kossyk, J. Kuzmany, M. Weigert, B. Muzzulini, P. Lange:
Ergebnisse der lumbalen Nucleotomien aus den Berliner und Münchner orthopädischen Kliniken.
Z. Orthop. 112: 798, 1974

44. Kieffer, S.A., E.M. Stadlan, A. Mohandas, H.O. Peterson:
Discographic-anatomical correlation of developmental changes with age in the intervertebral disc.
Acta Radiol. Diagn. 9: 733, 1969

45. Kovacs, A.:
Herniated discs and vertebral ligaments on native roentgenograms.
Acta Radiologica 32: 287, 1949

46. Krämer, J.:
Bandscheibenbedingte Erkrankungen.
Thieme, Stuttgart, 1978

47. Lackner, K., S. Schroeder:
Computertomographie der Lendenwirbelsäule.
Fortschr. Röntgenstr. 133: 124, 1980

48. Lackner, K., O. Köster, W. Distelmaier, S. Schroeber:
Der lumbale Bandscheibenprolaps im Computertomogramm.
Röntgen-Bl. 36: 47, 1983

49. Langlotz, M.:
Lumbale Myelographie mit wasserlöslichen Kontrastmitteln; Lehrbuch und Atlas.
Thieme, Stuttgart, 1981

50. Lardé, D., D. Mathieu, J. Frija, A. Gaston, N. Vasile:
Spinal vacuum phenomenon: CT diagnosis and significance.
J. Comp. Ass. Tomogr. 6: 671, 1982

51. Lochner, B., T. Grumme, C. Claussen:
Computertomographische Diagnostik einer Pseudomeningocele nach lumbaler Bandscheibenoperation.
Fortschr. Röntgenstr. 137: 224, 1982

52. Meisel, H.J.:
Photonenabsorptiometrie und Computertomographie zur Bestimmung der Knochendichte. Ein Methodenvergleich bei renaler Osteopathie, M. Paget und Osteoporose.
Inaugural-Dissertation, FU Berlin, 1984

53. Müller, H.A., W. Sachsenheimer, G. van Kaick:
Die Wertigkeit der CT bei der präoperativen Diagnostik von Bandscheibenvorfällen.
Fortschr. Röntgenstr. 135: 535, 1981

54. Mumenthaler, M., H. Schliack:
Läsionen peripherer Nerven.
Thieme, Stuttgart, 1982

55. Nachemson, A.:
The lumbar spine. An orthopaedic challenge.
Spine 1: 59, 1976

56. Nebel, G., W. Dihlmann, G. Lingg, L. Hering:
Computed tomography in the diagnosis of prolapsed intervertebral disc.
Europ. J. Radiol. 1: 158, 1981

57. Oldendorf, W.H.:
Isolated flying spot detection of radiodensity discontinuities-displaying the internal structural patter of a complex object.
I.R.E. Transactions on Bio-medical Electronics 8: 68, 1961

58. Oppel, R., J. Schramm:
Nachuntersuchungsergebnisse nach lumbalen Bandscheibenoperationen.
Vortrag auf der 27. Jahrestagung der Dtsch. Ges. für Neurochirurgie, Berlin, 1976; zitiert nach Krämer (46)

59. Orrison, W.W., F.G. Lilleas:
CT demonstration of gas in a herniated nucleus pulposus.
J. Comp. Ass. Tomogr. 6: 807, 1982

60. Peters, J.:
Die Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls unter besonderer Berücksichtigung der spinalen Computertomographie.
Inaugural-Dissertation, FU Berlin, 1983

61. Piepgras, U.:
Neuroradiologie.
Thieme, Stuttgart, 1977

62. Pfadenhauer, K., U. Ebeling, R. Bergleiter, P. Stoeter:
Zuverlässigkeit der Computertomographie bei der Diagnostik von Rezidivbeschwerden nach lumbalen Bandscheibenoperationen.
Fortschr. Röntgenstr. 139: 127, 1983

63. Pfeiler, M.:
The physics and technology of computed tomography, an introduction.
In: W. Lanksch, E. Kazner (Hrsg.): Cranial computerized tomography.
Springer, Berlin, 1976

64. Reuter, F., C. Claussen, T. Grumme, E. Kazner, P. Schaefer, H. Wenker:
Spinale Computertomographie beim lumbalen Bandscheibenvorfall.
DBÄ 19, 11: 976, 1982

65. Rührnschopf, E.P., W.A. Kalender:
Artefakte durch nichtlineare Teilvolumen- und Aufhärtungseffekte bei der Computertomographie.
Electromedica 2: 96, 1981

66. Schellinger, D., G. DiChiro, S.P. Axelbaum:
Early clinical experience with the ACTA scanner.
Radiology 114: 257, 1975

67. Schittenhelm, R., G. Schwierz:
Technik und Bildaufbau.
In: G. Friedmann, E. Bücheler, P. Thurn (Hrsg.): Ganzkörpercomputertomographie.
Thieme, Stuttgart, 1981

68. Schmidt, R.C., W. Pöll:
Lumbale Bandscheibenvorfälle im Diskogramm.
Fortschr. Röntgenstr. 130: 85, 1979

69. Schroeder, S., K. Lackner:
Computertomographische Untersuchung der Lendenwirbelsäule.
Z. Orthop. 118: 147, 1980

70. Schroeder, S., K. Lackner, G. Anders, B. Scheele:
Die Bedeutung der Computertomographie für die Erkennung pathologischer Verhältnisse im Bereich der Lendenwirbelsäule.
Orthop. Praxis 18: 219, 1982

71. Schubiger, O., A. Valavanis:
CT differentiation between recurrent disc herniation and postoperative scar formation: The value of contrast enhancement.
Neuroradiology 22: 251, 1982

72. Schuh, R.:
Zur Korrelation zwischen klinischem, myelographischem und intraoperativem Befund beim lumbalen Bandscheibensyndrom.
Z. Orthop. 112: 819, 1974

73. Schultz, E., R. Felix, K. Lackner, H.D. Bergeder, P. Thurn:
Abbildungseigenschaften der Computertomographie.
II. Räumliches Auflösungsvermögen, Dichteauflösung und partial-volume-Effekt bei kugelförmigen Objekten verschiedenen Durchmessers.
Fortschr. Röntgenstr. 130: 479, 1979

74. Schultz, E., R. Felix, P. Thurn:
Abbildungseigenschaften der Computertomographie.
III. Messungen an homogenen Materialien. Abhängigkeit der Dichtewerte und der Dichtewertestreuung von verschiedenen Parametern.
Fortschr. Röntgenstr. 130: 670, 1979

75. Schultz, E., K. Lackner:
Die Auswirkung von Strahlenschwächung und Strahlenaufhärtung auf die gemessenen CT-Werte.
Computertomographie 1: 83, 1981

76. Sicard, J.A., J.E. Forestier:
Méthode générale d'exploration radiologique par livile jodie.
Bull. Soc. med. Hôp. Paris : 463, 1922

77. Skalpe, I.O., T. Torbergsen, P. Amundsen, J. Presthus:
Lumbar myelograhy with metrizamide.
Acta Radiol. Suppl. 335: 367, 1973

78. Skalpe, I.O., P. Amundsen:
Thoracic and cervical myelography with metrizamide.
Radiology 116: 101, 1975

79. Skalpe, I.O., O. Sortland:
Myelography. Textbook and atlas.
Tanum-Norli, Oslo, 1978

80. Soyka, D.:
Tabulae Neurologicae.
Aesopus Verlag, Basel, Wiesbaden, 1982

81. Springorum, H.W.:
Diagnostik und Therapie des Lendenwirbelsäulensyndroms.
diagnostik 15, 10: 738, 1982

82. Stoeter, P., R. Bergleiter, M. Schumacher:
Diagnostische Bedeutung der spinalen Computertomographie unter besonderer Berücksichtigung einer achsengerechten Schichteinstellung.
Fortschr. Röntgenstr. 134: 123, 1981

83. Stoeter, P., I. Schneider, R. Bergleiter, U. Ebeling:
Diagnostischer Wert der computertomographischen Untersuchung der Lumbosakralregion bei Patienten mit Lumboischialgien.
Fortschr. Röntgenstr. 136: 515, 1982

84. Struppler, A.:
Funktionelle Anatomie des Kreuzschmerzes und der Ischialgie.
Münch. med. Wschr. 119: 1137, 1977

85. Tänzer, A.:
Die Myelographien.
In: E. Trostdorf, H.S. Stender (Hrsg.): Wirbelsäule und Nervensystem.
Thieme, Stuttgart, 1970

86. Thomalske, G., M. Schäfer, U.D. König:
Gründe für das Versagen aktiv-chirurgischer Therapie von durch Bandscheibenläsionen verursachten Lumboischialgien.
Med. Welt 14: 530, 1973

87. Töndury, G.:
Zur Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Wirbelsäule mit besonderer Berücksichtigung der Altersveränderung der Bandscheiben.
Schweiz. Med. Wschr. 85: 825, 1955

88. Vent, J., M. Steinhaus, H. Laturnus:
Thorakale und lumbale Myelographie mit Metrizamid.
Z. Orthop. 115: 382, 1977

89. Wegener, O.H.:
Ganzkörpercomputertomographie.
Karger, Basel, 1981

90. Weiss, T., J. Treisch, C. Claussen, D. Banzer:
Irrtumsmöglichkeiten und Schwierigkeiten in der computertomographischen Diagnostik lumbaler Bandscheibenvorfälle.
Fortschr. Röntgenstr. 138: 54, 1983

91. Weiss, T., D. Köhler, J. Treisch, C. Claussen, R. Felix:
Der vermutete Diskusvorfall - eine differentialdiagnostische Kasuistik der lumbalen CT.
Röntgen-Bl. 37: 252, 1984

92. Williams, A.L., V.M. Haughton, G.A. Meyer:
Computed tomographic appearance of the bulging annulus.
Radiology 142: 403, 1982

93. Zaunbauer, W.:
III. Röntgenanatomie der Wirbelsäule.
In: Handbuch der medizinischen Radiologie.
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1974, 65

Danksagung

Bei Herrn Professor Dr. R. Felix möchte ich mich dafür bedanken, daß ich die vorliegenden Untersuchungen am Computertomographen der Radiologischen Abteilung im Klinikum Charlottenburg der FU Berlin durchführen konnte.

Herrn Priv.-Doz. Dr. C. Claussen danke ich für die Überlassung des interessanten Themas dieser Arbeit sowie für die Hilfe und Anleitung bei der Auswertung der dargestellten Ergebnisse.

Mein Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. T. Weiss für die Hilfe bei der Erarbeitung diagnostischer Probleme der lumbalen CT.

Herrn Professor Dr. E. Kazner danke ich für die Zusammenarbeit mit der ihm unterstehenden Neurochirurgischen Klinik im Klinikum Charlottenburg, insbesondere für die Überlassung von klinischen und intraoperativen Befunden.

Bei Frau E.-M. Jahn möchte ich mich für das Schreiben und Ordnen dieser Arbeit bedanken.

Allen MTA's am Computertomographen des Klinikums Charlottenburg gilt mein Dank für ihre Mitarbeit und Hilfe.

Den Mitarbeitern der Foto- und Graphik-Abteilung des Klinikums Charlottenburg danke ich für die Hilfe bei der Erstellung des verwendeten Bildmaterials.

Lebenslauf

Am 24.02.1959 wurde ich als Sohn des Ing.-grad. Hubertus Treisch und seiner Ehefrau Lissi Treisch in Berlin geboren.

Von April 1965 bis April 1971 war ich Schüler der Gottfried-Röhl-Grundschule in Berlin. Vom April 1971 bis Juni 1977 besuchte ich das Lessing-Gymnasium in Berlin.

Im Wintersemester 1977/78 nahm ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Humanmedizin auf. Im August 1979 legte ich die Ärztliche Vorprüfung, im August 1980 den 1. Abschnitt und im August 1982 den 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung ab. Den 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung absolvierte ich im Dezember 1983; am 16.12.1983 wurde mir die Approbation als Arzt erteilt.

Seit dem 01.01.1984 bin ich als wissenschaftlicher Angestellter in der Radiologischen Klinik des Klinikums Charlottenburg der Freien Universität Berlin tätig.

Papyrus-Druck GmbH Berlin ☎ 3416451
Dissertationen